

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS
***CAMPUS* PALMAS**

EMANUELE PEREIRA DOS SANTOS MORAES
MYKAEL SCHUMARCHER SILVA BARROS

PROJETO DE SONORIZAÇÃO PARA O AUDITÓRIO CENTRAL DO INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS, *CAMPUS* PALMAS

PALMAS-TO
2022

EMANUELE PEREIRA DOS SANTOS MORAES
MYKAEL SCHUMARCHER SILVA BARROS

PROJETO DE SONORIZAÇÃO PARA O AUDITÓRIO CENTRAL DO INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS, *CAMPUS* PALMAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência à obtenção do Título de Bacharel do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Instituto Federal do Tocantins, *Campus* Palmas.

Orientador: Mestre Jorge Luiz Passos Abduch Dias.
Coorientador: Mestre Marcelo Gouveia Sábia.

PALMAS/TO
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

M828p Moraes, Emanuele Pereira Dos Santos

Projeto de sonorização para o auditório central do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins Campus Palmas / Emanuele Pereira Dos Santos Moraes, Mykael Schumarcher Silva Barros. – Palmas, TO, 2023.

60 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas, Palmas, TO, 2023.

Orientador: Me. Jorge Luiz Passos Abduch Dias
Coorientador: Me. Marcelo Gouveia Sábia

1. Projeto de sonorização. 2. Auditório. 3. Equipamentos de som. I. Barros, Mykael Schumarcher Silva. II. Dias, Jorge Luiz Passos Abduch III. Sábia, Marcelo Gouveia. IV. Título.

CDD 621

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automatica de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

EMANUELE PEREIRA DOS SANTOS MORAES
MYKAEL SCHUMARCHER SILVA BARROS

PROJETO DE SONORIZAÇÃO PARA O AUDITÓRIO CENTRAL DO INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS *CAMPUS* PALMAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência à obtenção do Título de Bacharel do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Instituto Federal do Tocantins, *Campus* Palmas.

Aprovado em 14/12/2022

BANCA EXAMINADORA

Mestre Jorge Luiz Passos Abduch Dias
Orientador
IFTO – *CAMPUS* PALMAS

Mestre Marcelo Gouveia Sábia
Coorientador
IVM TECH

Doutor Márcio Augusto Tamashiro
IFTO – *CAMPUS* PALMAS

Doutor Valci Ferreira Victor
IFTO – *CAMPUS* PALMAS

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, queremos agradecer a Deus pela graça, mesmo imerecida, que foi derramada sobre nós, pois reconhecemos que não merecíamos nada, porém Ele nos deu tudo.

Em segundo lugar, agradecer as nossas famílias por terem nos apoiado o tempo todo e pela criação que nos foi dada, porque por meio dela foi possível chegar até aqui.

Agradecemos ao nosso professor orientador Mestre, Jorge Luiz Passos Abduch Dias e ao nosso coorientador Mestre, Marcelo Gouveia Sábia, pois graças as suas orientações e correções foi possível o desenvolvimento deste trabalho.

Agradecemos também ao Analista Sênior do departamento de áudio profissional da Yamaha, Vinicius Mulieri, ao tempo disponibilizado para nos atender e orientar a respeito do áudio profissional.

Agradecemos por último, ao IFTO, *Campus* Palmas e à IVM Tech por todo conhecimento e oportunidades que nos foram dadas.

RESUMO

O presente trabalho aborda uma análise do sistema de áudio do auditório do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia – *Campus* Palmas e um estudo do comportamento das ondas sonoras no ambiente, com o objetivo de desenvolver um projeto de sonorização que supra as suas necessidades. Para levantamento de dados a planta baixa do auditório foi examinada, realizado as medições das pressões sonoras emitidas pelas caixas acústicas, verificado cada equipamento de som, suas conexões e a instalação dos condutores no local. Desta forma, foi possível constatar que: a dispersão sonora pelo recinto não está homogênea, as conexões entre cabos e equipamentos de som estão gerando interferências no sinal, as caixas acústicas oscilam sua pressão aleatoriamente durante a transmissão de som e que há eletrodutos contendo condutores de energia junto com os cabos de áudio. O projeto de sonorização proposto sana todos os problemas presentes no atual sistema de áudio do auditório e apresenta equipamentos de fácil utilização.

Palavras-chaves: Projeto de sonorização. Auditório. Equipamentos de som.

ABSTRACT

The present work addresses an analysis of the audio system of the auditorium of the Instituto Federal de Ciência e Tecnologia – Campus Palmas and the behavior of sound waves in the environment, with the aim of developing a sound project that solves their needs. For data collection, the floor plan of the auditorium was examined, and measurements of the sound pressures emitted by the speakers were performed, checking each sound equipment, its connections and the installation of the conductors on site. Thus, it was possible to observe that the sound dispersion throughout the enclosure is not homogeneous, connections between cables and sound equipment are generating interference to the signal, the speakers oscillate their pressure, randomly, during sound transmission and proven that there are electroducts containing power conductors along with the audio cables. The proposed sound project sanes all the problems present in the current audio system of the auditorium and presents easy-to-use equipment.

Keywords: Sound project. Auditorium. Sound equipment.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Propagação de ondas sonoras. 20
Figura 2 – Curvas isofônicas. 21
Figura 3 – Sistema de audição. 22
Figura 4 – Sensibilidade do ouvido a pressão sonora. 23
Figura 5 – Nível de pressão sonora por evento. 24
Figura 6 – Reflexão. 24
Figura 7 – Reverberação. 25
Figura 8 – *Mixer*. 31
Figura 9 – Amplificador. 32
Figura 10 – Forma de propagação das ondas em caixas de som *Standard.* 34
Figura 11 – Forma de propagação de onda em caixas de som *Line-array*. 35
Figura 12 – Aumento de distância e perda de dB em caixas *standard*. 35
Figura 13 - Aumento de distância e perda de dB em caixas *line-array.* 36
Figura 14 – Reflexões indesejáveis. 36
Figura 15 – Propagação ordenada. 36
Figura 16 – Captação completa da energia emitida pela caixa de som. 37
Figura 17 – Captação de uma parcela da energia emitida pela caixa de som. 37
Figura 18 – Sistema 1. 38
Figura 19 – Diagrama 1. 38
Figura 20 – Sistema 2. 39
Figura 21 – Diagrama 2. 39
Figura 22 – Isolamento inadequado. 42
Figura 23 – Distribuição de pressão sonora atual do auditório. 43
Figura 24 – Painel multicabos medusa presente no auditório. 44
Figura 25 – Distribuição de pressão sonora do sistema proposto. 46
Figura 26 – Vista lateral do posicionamento da *line-array*. 47
Figura 27 – Arranjo das caixas acústicas. 47
Figura 28 – Distribuição mais realista dos níveis pressão resultantes do arranjo proposto. 48
Figura 29 - Projeto de Infraestrutura. 50
Figura 30 – Carimbo do projeto de infraestrutura. 50
Figura 31 - Diagrama de conexão dos equipamentos do sistema de sonorização proposto. 52

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Níveis de pressão sonora e tempo de exposição. 23
Quadro 2 - Nível de pressão sonora emitida pelas caixas acústicas. 43
Quadro 3 - Orçamento total para a execução do projeto de sonorização. 53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DB	Decibel
HZ	*Hertz*
IFTO	Instituto Federal do Tocantins
MONO	Monofônico
P-10	Plug 10
RCA	*Radio Corporatin of America*
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
TRS	*Tip Ring Sleeve*
XLR	*Cannon X Latch Rubber*
SPL	*Sound Preasure Level*
PGM	*Program Power*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 12

2 JUSTIFICATIVA 13

3 OBJETIVOS 15

3.1 OBJETIVO GERAL 15

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 15

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 16

5 REVISÃO DE LITERATURA 18

5.1 CONCEITOS SONOROS 18

5.1.1 Ondas 18

5.1.2 Ondas Sonoras 19

5.2 PROPAGAÇÃO DO SOM E VELOCIDADE 19

5.2.1 Propagação do Som 19

5.2.2 Frequência Sonora 20

5.2.3 Audição 22

5.2.4 Reflexão 24

5.2.5 Efeito Haas 26

5.3 EQUIPAMENTOS SONOROS 26

5.3.1 Transdução 27

5.3.2 Cabos de áudio 27

5.3.3 Microfone 29

***5.3.4 Mixer* 30**

5.3.5 Amplificador 31

5.3.6 Caixas acústicas 32

5.4 EXEMPLOS DE SISTEMAS 37

6 DESENVOLVIMENTO 40

6.1 FERRAMENTA DE MEDIÇÃO E *SOFTWARES* UTILIZADOS 40

6.1.1 Decibelímetro 40

6.1.2 EASE Focus 3 41

6.1.3 NS-1 41

6.2 DADOS COLETADOS 41

6.3 PROJETO FINAL 45
6.3.1 Simulações 45
6.3.2 Sistema de sonorização proposto 48
6.4 ORÇAMENTO 53
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS 54
REFERÊNCIAS 55
ANEXO A – CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO 57
ANEXO B – NORMA SOBRE SONORIZAÇÃO 58

1 INTRODUÇÃO

Em auditórios, é fundamental que o público consiga compreender com clareza a mensagem transmitida. Mas, para que isso ocorra, faz-se necessário a elaboração de um projeto de sonorização, projeto este que analisa as características geométricas da área física a ser atendida e, a partir disso, é elaborado um dimensionamento detalhado de quais equipamentos deverão ser utilizados, as características técnicas, localização e orientação espacial. Tudo isso para que os ouvintes tenham conforto sonoro durante a utilização do espaço e também para que a vida útil dos equipamentos seja conservada.

Em ambientes onde são instalados equipamentos de áudio sem as devidas especificações de projeto, os prejuízos podem vir rapidamente. Por mais que sejam utilizados produtos de marcas conceituadas, se forem instalados sem um dimensionamento apropriado podem ser danificados a ponto de se tornarem obsoletos, ou até mesmo gerar desconforto aos ouvintes.

No caso do auditório do IFTO, *Campus* Palmas, a ausência de um projeto de sonorização em conjunto com a falta de manutenção e a ausência de um operador técnico especializado, resultou na redução de vida útil do sistema e desconforto sonoro.

Deste modo, com o intuito de melhorar a qualidade de áudio do recinto, foi desenvolvido um projeto de áudio profissional para o auditório central do IFTO, *Campus* Palmas, em que foram considerados os critérios de eficiência em concordância com as normas técnicas de execução, segurança e confiabilidade, observando ainda a melhor relação custo-benefício para as instalações previstas.

Tendo em vista essa problemática e sabendo que a qualidade sonora do ambiente irá interferir diretamente no bom aproveitamento das atividades que são desenvolvidas no local, este trabalho propõe melhorar o sistema de áudio do auditório central do IFTO, *Campus* Palmas, através da elaboração de um projeto de sonorização profissional.

O presente trabalho abordará conceitos sonoros básicos, a fim de revisar o comportamento físico do som; em seguida serão apresentados os dispositivos que compõem um sistema de áudio, explicando os seus conceitos, características e aplicações. Posteriormente serão exibidos alguns exemplos de projetos sonoros direcionados a auditórios e, por fim, exibir-se-á a análise dos dados coletados em campo, simulações realizadas em *softwares* e o projeto final de sonorização para o auditório central do *Campus* Palmas.

2 JUSTIFICATIVA

Uma atividade que vem crescendo, não apenas no Brasil, mas em todo mundo, é o projeto de correção da sonorização de ambientes já construídos e em pleno funcionamento. Este ofício tem ganhado espaço porque, em fase de projeto, o consumidor final, que normalmente possui pouco conhecimento na área, não entende que o investimento em projeto de áudio é essencial para a assertividade das especificações dos equipamentos a serem utilizados e das características das instalações. Dessa forma, em muitos casos, os usuários de locais como: auditórios, igrejas, restaurantes, entre outros, reclamam da má qualidade do áudio e os gestores desses ambientes decidem procurar especialistas para fazerem as devidas correções.

É importante ressaltar que, apesar de obedecerem aos mesmos princípios, os sistemas de som são encontrados em diversos níveis de sofisticação. Em ambientes domésticos, por exemplo, os sistemas de som podem ser bastante simplificados, mas o mesmo não ocorre com os sistemas de som em ambientes de maiores dimensões ou onde a qualidade do som é de fundamental importância. Isso se deve ao fato de que alguns fenômenos sonoros são mais evidentes em determinados ambientes e a existência ou não de alguns desses fenômenos é que define a qualidade acústica. (MARINHO, 2016)

Observando o cenário, as pessoas normalmente pensam que somente a aquisição de equipamentos que apresentam uma certa qualidade de áudio ou dispositivos de marcas conhecidas no mercado é o único fator que irá definir a qualidade de som do ambiente. Porém, o sistema só vai entregar o seu rendimento máximo se tiver como base um projeto de áudio.

Sob o mesmo ponto de vista, observou-se que o auditório central do IFTO, *Campus* Palmas, hoje se encontra carente de um projeto de sonorização, pois durante a sua construção não foi desenvolvido um projeto sonoro. Por ser um ambiente didático, utilizado para a realização de semanas acadêmicas, palestras, colações de grau e até mesmo apresentações culturais, faz-se necessário a elaboração e execução de um projeto de sonorização robusto que permita a intelecção da mensagem transmitida.

Além disto, a falta do projeto, associado à ausência de manutenções - preventivas e corretivas – resultou: na aquisição incorreta dos equipamentos, na má distribuição das caixas acústicas, no subdimensionamento dos equipamentos que fazem o controle de áudio e no descarte e substituição da mesa de som (*mixer*) da sala de comandos.

Em virtude da ineficiência do sistema instalado no recinto, para que fosse realizada a cerimônia de posse da atual gestão do *Campus* Palmas, optou-se pela locação dos equipamentos

de áudio. Outro exemplo do mau funcionamento deste sistema foi durante a cerimônia solene da colação de grau dos formandos 2022/1 do ensino superior do *Campus* Palmas, no qual foram utilizados os equipamentos presentes no auditório. Durante este evento ocorreram os seguintes problemas: distorção do áudio reproduzido, interferência, microfonia e interrupções no som da fala que estava sendo transmitida, impossibilitando os ouvintes de entender o que a cerimonialista estava proferindo. No decorrer da cerimônia, apenas uma das caixas acústicas estava funcionando, em decorrência disto, o volume do áudio foi aumentado para que todos presentes pudessem compreender o que estava sendo dito. Porém, isto causou desconforto sonoro para os ouvintes que estavam próximos da caixa acústica.

Infelizmente os distúrbios descritos não se tratam de casos isolados e sim de transtornos recorrentes que o auditório do IFTO, *Campus* Palmas, vem passando há um bom tempo. Além dos problemas sonoros, em visita técnica acompanhada pelo Gerente de Infraestrutura e Serviços do *Campus* Palmas, foi destacado que em decorrência de problemas com cupins no palco e infiltrações no forro, a nova gestão tem interesse em realizar, assim que possível, uma reforma no recinto. Sendo o momento oportuno, portanto, para se fazer a implementação de um novo sistema de áudio, pois viabiliza a execução da infraestrutura necessária para a instalação dos equipamentos de som.

Levando em consideração os aspectos citados anteriormente e que a gestão do *Campus* Palmas se mostrou interessada na proposta deste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), tendo em vista os problemas existentes e que já era um objetivo sanar os problemas sonoros do auditório, acabou por estimular a realização deste trabalho acadêmico, vislumbrando a possibilidade de se destinar recursos orçamentários e de se buscar verbas suplementares para a execução do projeto.

A perspectiva é a de que o trabalho resultante deste TCC, a ser entregue oficialmente à gestão do *Campus* Palmas tão logo venha a ser aprovado, seja utilizado como base e direcione o que deve ser feito para alcançar a qualidade de áudio desejada.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um projeto de áudio profissional para o auditório central do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia – *Campus* Palmas, a fim de promover um sistema com pressão sonora e área de cobertura apropriada para o ambiente, que tenha robustez adequada, de forma a atender as demandas deste recinto.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) analisar e identificar as necessidades de áudio que o auditório central possui;
b) estudar o comportamento do som no auditório;
c) desenvolver um projeto personalizado para as demandas institucionais do auditório;
d) especificar equipamentos de som juntamente com as conexões apropriados para o projeto;
e) elaborar o diagrama de conexão dos equipamentos.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O método utilizado na elaboração deste trabalho é de cunho aplicado, exploratório e qualitativo.

Este trabalho teve como finalidade o desenvolvimento de um projeto que atenda as demandas sonoras do auditório central do IFTO, campus Palmas, Identificando-se como pesquisa aplicada, visto que, segundo Lakatos e Marconi (1992) a pesquisa aplicada caracteriza-se por seu interesse prático, isto é, os resultados são aplicados ou utilizados, imediatamente, na solução de problemas que ocorrem na realidade.

A primeira fase de elaboração deste trabalho foi a identificação das falhas presentes no sistema instalado atualmente. Para tanto, visitou-se o auditório e para determinar o nível de desempenho funcional do sistema, um decibelímetro foi posicionado a um metro de distância de cada caixa acústica, em seguida, foi reproduzido individualmente em cada caixa acústica o ruído rosa. O ruído rosa consiste em todas as frequências que podemos ouvir e soa de maneira uniforme, por isso que ele é utilizado para realizar medições de áudio, onde todas foram submetidas a um mesmo nível de amplificação e volume. Esse procedimento foi realizado três vezes para que fossem calculadas as médias aritméticas com os valores dos níveis de pressão sonora emitidos pelas caixas.

Durante a segunda fase, realizou-se a simulação do *layout* das caixas acústicas instaladas atualmente no auditório utilizando o *EASE Focus, software* que simula os níveis de pressão sonora em *layouts* de caixas acústicas definidas pelo operador do programa, porém o seus cálculos não levam em consideração as reflexões do som com as paredes e o forro do local. Este *software* tem um nível de rigor elevado pois é possível definir o modelo das caixas acústicas, a altura em que elas se encontram, seus ângulos de inclinação e as zonas de audiência.

A terceira fase foi a elaboração do projeto de sonorização. Para isso, foram estudados os equipamentos que compõem os sistemas de áudio a função e a importância de cada um deles. E para que se encontre o arranjo ideal das caixas acústicas no auditório, foram feitas simulações no *software NS-1* em que é possível detalhar minuciosamente as dimensões do ambiente (altura das paredes, desníveis do piso e altura do teto), as características operacionais das caixas acústicas e a temperatura do local; e com estas informações o *software* exibe em três dimensões os níveis de pressão sonora que chegam nas zonas de audiência do ambiente simulado. Durante o uso desse simulador foram utilizados diversos modelos de caixas acústicas sendo elas

posicionadas em diferentes locais do recinto até identificar a opção em que a distribuição do som era mais homogênea.

Durante a quarta e última fase, foi elaborado o projeto de infraestrutura e cabeamento, onde foram definidas as rotas dos eletrodutos, posições das caixas de passagens e os tipos de cabos que devem ser utilizados para realizarem as conexões entre os aparelhos. Todos os materiais e equipamentos necessários para a execução do projeto foram quantificados e listados, para que independentemente de qual empresa venha a executar o sistema proposto, consiga facilmente interpretar o projeto e adquirir os equipamentos corretos.

5 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo serão abordadas algumas propriedades sonoras, a relação entre ondas sonoras e a audição, os principais equipamentos que compõem um sistema de áudio e exemplos de projetos.

5.1 CONCEITOS SONOROS

5.1.1 Ondas

O conceito de onda constitui um dos mais importantes fios unificadores que costuram o tecido inteiro das ciências naturais. Uma onda surge quando um sistema é deslocado de sua posição de equilíbrio e a perturbação pode se deslocar ou se propagar de uma região para outra do sistema.

Na natureza possuímos dois tipos de ondas, a onda mecânica que é uma perturbação que se desloca através de um material chamado de meio no qual a onda se propaga. À medida que a onda se propaga através do meio, as partículas que constituem o meio sofrem deslocamentos de diversas espécies, dependendo da natureza da onda. O outro tipo de onda existente na natureza é a eletromagnética, elas são capazes de se propagar no vácuo, pois não necessitam de matéria para irem de um ponto a outro, enquanto as ondas mecânicas sempre irão precisar de um material para sua propagação. (YOUNG,2008; FREEDMAN, 2008)

O deslocamento da onda em um sistema se dá graças às oscilações que ela causa nas partículas de um meio, seguida da transferência de energia que ocorre de uma partícula para outra.

5.1.2 Ondas Sonoras

Um exemplo de ondas mecânicas, são as ondas sonoras, que dentre todas presentes na natureza são as que possuem maior importância entre as que compõem o nosso cotidiano. Elas são classificadas como ondas longitudinais, pois suas vibrações e sua propagação possuem a mesma direção. Sua velocidade depende das propriedades físicas do meio de propagação, sendo que qualquer material pode ser usado como meio propagante.

5.2 PROPAGAÇÃO DO SOM E VELOCIDADE

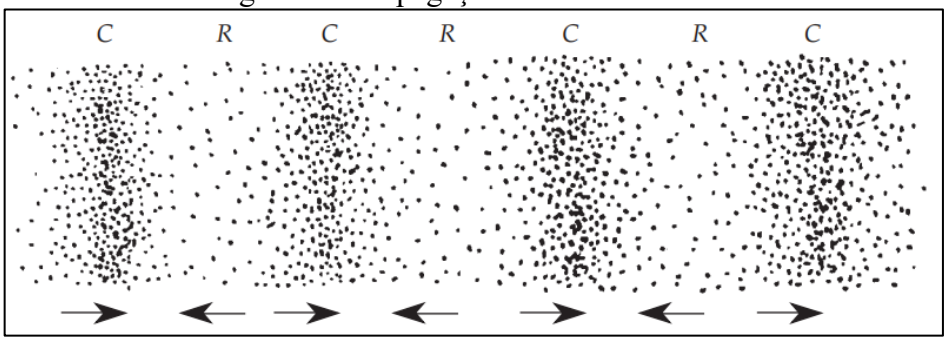
A seguir serão apresentadas as características das ondas sonoras e sua interação com o sistema auditivo.

5.2.1 Propagação do Som

A propagação das ondas sonoras no ar resulta em uma pequena variação da pressão do ar no ambiente e, em meio sólido, essa oscilação gera uma vibração mecânica. O ciclo completo de uma onda sonora é formado por um “semiciclo” de onde as moléculas estão comprimidas e outro “semiciclo” em que elas estão rarefeitas.

Os pontos apresentados na Figura 1 representam moléculas de ar com diferentes variações de densidade. As moléculas juntas representam as áreas de compressão - a crista da onda - em que a pressão do ar é ligeiramente maior que a pressão atmosférica predominante. As áreas em que as moléculas estão mais distantes umas das outras estão representando a rarefação - o vale da onda - na qual a pressão é ligeiramente menor que a pressão atmosférica.

Figura 1 – Propagação de ondas sonoras.



Fonte: Master Handbook of Acoustics (2009).

A velocidade de propagação do som no ar é determinada por quatro fatores: a temperatura, elasticidade, intensidade e a densidade do meio. Quanto mais alta for a temperatura, menores serão a compressibilidade e a densidade do meio, e maior será a velocidade de propagação.

A quantidade de energia transportada pela onda sonora por unidade de superfície normal à direção da onda é o que define a intensidade sonora em um ponto e em uma determinada direção, dada pela equação abaixo, onde P é a potência em Watt (W) e A é a área em metro quadrado (m^2). (MARCO,1982)

$$I = \frac{P}{A}$$

Segundo Borges e Rodrigues (2016, p. 53), se as intensidades forem muito grandes, como nas explosões, a propagação da energia será feita inicialmente na forma de uma onda de choque, que tem velocidade maior que aquela das ondas sonoras normais na mesma temperatura e pressão.

Apesar de tudo, para efeitos práticos, considera-se que a velocidade de propagação do som depende apenas da temperatura, pois, dentre os fatores citados acima, ela é a que possui maior peso na determinação da velocidade.

5.2.2 Frequência Sonora

As ondas sonoras são divididas em 3 categorias de acordo com a sua frequência. Na primeira categoria de ondas temos as que possuem uma frequência entre 20 e 20.000 Hz, nesta

faixa temos as ondas que são perceptíveis e podem ser interpretadas como som pelos ouvidos humanos e são denominadas como ondas audíveis.

Na segunda categoria de ondas estão as com frequência menor que 20 Hz, estas são denominadas ondas infrassom, pois encontram-se em uma frequência abaixo das que são perceptíveis ao ouvido humano.

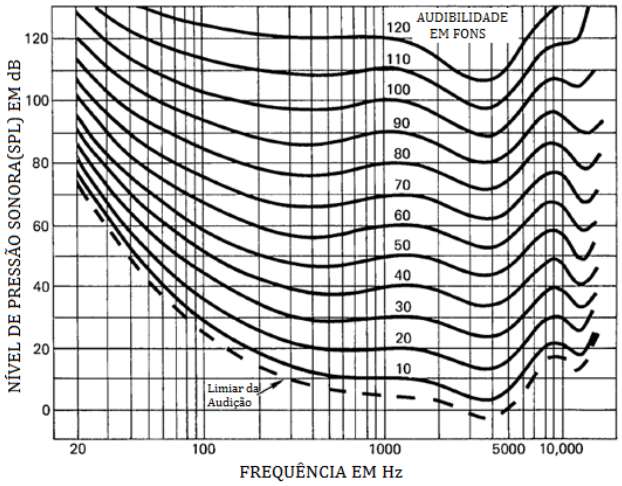
Por último, na terceira categoria de ondas, temos as que possuem uma frequência acima de 20.000 Hz, estas por sua vez possuem uma frequência acima da faixa audível do ouvido humano e por isso são chamadas de ondas ultrassom.

O ouvido humano não possui uma percepção de intensidade linear à frequência, por este motivo, algumas frequências necessitam de uma pressão sonora maior para que o ouvido tenha a mesma sensação sonora de outro valor de frequência.

"A fim de tornar quantitativo o *loudness* (sensação subjetiva de intensidade sonora*),* foi criada uma unidade de medida denominada *fon*. Ela se refere a sensação de intensidade produzida por um tom de 1.000 Hz a partir de curvas isofônicas, ou seja, curvas de igual audibilidade, determinadas através de experimentos". (BORGES, 2016; RODRIGUES, 2016 p.92)

Na Figura 2 é apresentado o gráfico que representa as curvas de audibilidade.

Figura 2 – Curvas isofônicas.



Fonte: JBL System Design Reference Manual (1999).

5.2.3 Audição

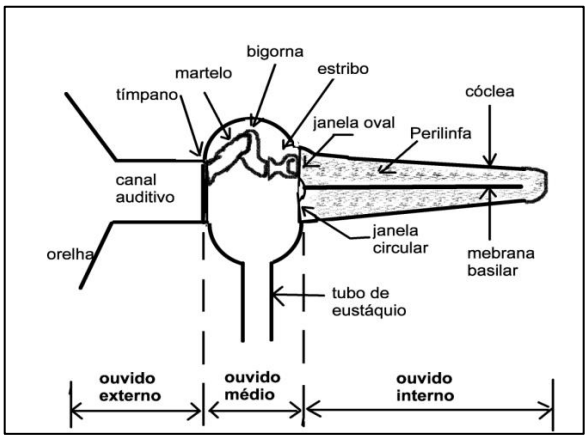
O sistema de audição humano é composto por 3 ouvidos, que são eles: ouvido externo, ouvido médio e ouvido interno. A Figura 3 exibe uma representação do nosso sistema de audição.

As ondas sonoras introduzem-se no ouvido externo através do pavilhão auricular e do conduto auditivo externo e prosseguem até colidirem com a membrana timpânica, responsável por fazer a divisão entre o ouvido externo e ouvido médio. A membrana começa a vibrar após a colisão com as ondas sonoras, estas vibrações são transmitidas para o sistema do ouvido médio, também conhecido como cavidade timpânica, que é composto pelos três ossículos: martelo, bigorna e o estribo.

O ouvido médio é responsável por fazer a comunicação entre o meio aéreo da orelha externa com o meio líquido da orelha interna. Para cada informação que chega no ouvido médio uma vibração é gerada na janela oval (membrana que divide o ouvido médio do ouvido interno), pois é através destas vibrações que o ouvido interno recebe as informações que foram captadas pelo ouvido externo.

A orelha interna é composta pela perilinfa, cóclea que é a parte da orelha que se assemelha a um caracol e pela membrana basilar que são sensíveis a diferentes níveis de frequência, funcionando assim como um filtro de nível de frequência.

Figura 3 – Sistema de audição.



Fonte: Lazzarini (1998).

O ouvido humano apresenta uma sensibilidade a determinados níveis de pressão sonora

e dependendo do tempo de exposição a elevados níveis de pressão sonora causam lesões na cóclea a nas células ciliadas, este fato irá afetar na capacidade auditiva a determinadas faixas de frequências. O Quadro 1 apresenta os níveis de pressão sonora e o tempo de exposição diária que o ouvido humano pode ficar exposto sem causar danos ao sistema de audição.

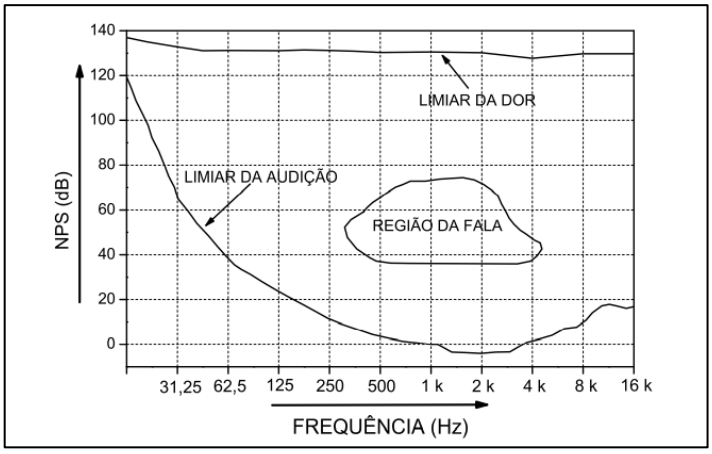
Quadro 1 – Níveis de pressão sonora e tempo de exposição.

Nível de pressão sonora - dB	**Máxima exposição diária permissível**
85	8 horas
90	4 horas
95	2 horas
100	1 hora

Fonte: Anexo 1 da NR-15.

Na Figura 4, a curva superior representa o limiar da dor. Níveis de pressão sonora que ultrapassam esta curva podem trazer sérios problemas auditivos. A curva inferior representa o limiar da audição, ela mostra o nível de pressão mínima para que uma pessoa com audição normal possa sentir o som.

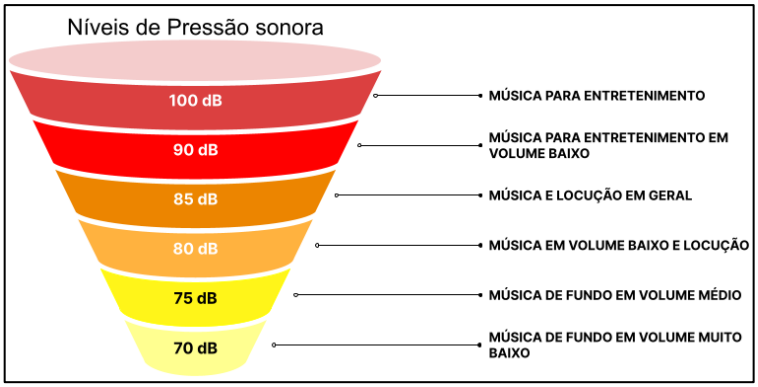
Figura 4 – Sensibilidade do ouvido a pressão sonora.



Fonte: Master Handbook of Acoustics (2009).

A Figura 5 exibe os níveis de pressão sonora adequados para diferentes tipos de eventos.

Figura 5 – Nível de pressão sonora por evento.

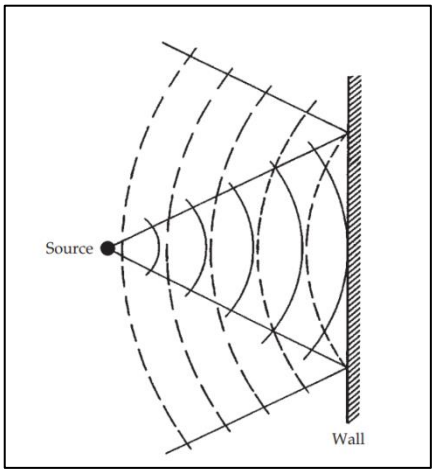


Fonte: Yamaha, adaptado pelos autores.

5.2.4 Reflexão

A reflexão do som ocorre quando uma onda sonora que se propaga em um determinado meio encontra algum obstáculo que se oponha a sua propagação. Quando a onda se choca com o obstáculo ela será refletida, mudando de direção e sentido. Este fenômeno pode ser melhor observado na Figura 6.

Figura 6 – Reflexão.



Fonte: Master Handbook of Acoustics (2009).

Quando a fonte sonora está em campo livre de barreiras o som será emanado da fonte radialmente em todas as direções e irá ser dissipado rapidamente, porém, se a mesma fonte sonora estiver em um ambiente fechado durante a sua propagação o som irá se chocar contra as

paredes e ficará refletindo até se extinguir por completo.

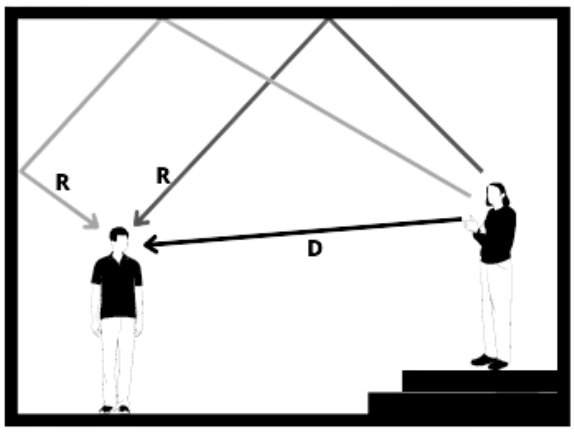
A reflexão do som pode dar origem à reverberação ou ao eco, dependendo do intervalo de tempo entre a percepção do som direto e do refletido. O ouvido humano só consegue distinguir dois sons que chegam a ele com um intervalo de tempo superior a um décimo de segundo. Se a diferença de caminhos entre o som direto e o refletido for muito grande, a inteligibilidade será comprometida.

5.2.4.1 Reverberação

A reverberação é um fenômeno sonoro de caráter temporal. Este fenômeno ocorre quando as ondas sonoras refletidas continuam se propagando mesmo após o sinal da onda original ter sido interrompido. As ondas refletidas percorrem um caminho maior que o da onda direta até chegar ao ouvinte, gerando um atraso na percepção do som emitido (PASSOS 2015).

A Figura 7 ilustra como ocorre a reverberação, onde são apresentados um locutor e um ouvinte. O ouvinte está submetido às ondas sonoras diretas (D) e às ondas sonoras indiretas (R). A velocidade em que as ondas sonoras diretas chegam ao ouvinte é menor que a velocidade das ondas refletidas, isso causa no ouvinte a sensação de ininterrupção, ou seja, ele continua captando o som durante um pequeno intervalo de tempo após sua fonte ter cessado a geração.

Figura 7 – Reverberação.



Fonte: Autores (2022)

5.2.5 Efeito Haas

Nosso mecanismo auditivo integra sons separados espacialmente em intervalos curtos e, sob certas condições, tende a percebê-los como vindos de um mesmo local. Por exemplo, em um auditório, o ouvido e o cérebro têm a capacidade de reunir todas as reflexões que chegam dentro de cerca de 35 ms (milissegundos) após o som original (que vem de maneira direta) e combiná-las (integrar) para dar a impressão de que todo esse som é proveniente da fonte original (direta), embora reflexões de outras direções estejam envolvidas.

O som que chega primeiro estabelece a localização da fonte perceptiva dos sons posteriores. Isso é chamado de efeito de precedência, efeito Haas ou lei da primeira frente de onda.

A energia sonora integrada durante este período também dá uma impressão de volume adicional. Não é muito surpreendente que o ouvido humano una sons que chegam durante uma certa janela de tempo, exemplo disto é o cinema, onde nossos olhos fundem uma série de imagens paradas, dando a impressão de movimento contínuo.

A taxa de apresentação das imagens estáticas é importante; deve haver pelo menos 16 fotos por segundo (intervalo de 62 ms) para evitar ver uma série de fotos estáticas ou uma cintilação. A fusão auditiva também é um processo de fusão temporal. (EVEREST, 2009; POHLMANN, 2009)

5.3 EQUIPAMENTOS SONOROS

Segundo Marinho (2016, p.41) um sistema de som é um arranjo de equipamentos e componentes eletrônicos projetados, de maneira geral, para receber um som na entrada, amplificar sua intensidade e reproduzir o som na saída para os ouvintes. Muitas vezes, uma pessoa que está discursando ou cantando em um palco não é ouvida claramente por todos na plateia, sendo necessário equipamentos que façam com que o som seja ouvido de maneira clara e com uma intensidade adequada. Existem sistemas que são projetados para outras funções, tais como gravação e transmissão do som. Esses equipamentos permitem que o som seja transmitido e reproduzido em outros ambientes ou localidades mais distantes do evento, ou ainda, que o

evento seja registrado e reproduzido em outro ambiente e em um outro momento.

5.3.1 Transdução

Transdução é quando uma energia se transforma em outra energia de natureza diferente. Os dispositivos transdutores são equipamentos que conseguem transformar uma energia em outra, como por exemplo o ferro de passar que transforma a energia elétrica em térmica.

Nos sistemas de áudio estão presentes alguns dispositivos transdutores. O microfone transforma as ondas sonoras (energia acústica) em sinais elétricos (energia elétrica); a caixa acústica irá receber o sinal elétrico e o transformará em energia sonora. Existem outros equipamentos de áudio que também são transdutores, como por exemplo os captadores para violão e guitarra.

5.3.2 Cabos de áudio

Apesar da generalização equivocada de que “cabos são todos iguais”, no que diz respeito à projeção e execução de sistemas de áudio, os cabos não podem ser generalizados, pois os sistemas sonoros são extremamente sensíveis a interferências, por isso deve-se ter atenção ao definir qual condutor será utilizado para determinado sistema.

Com a transmissão em cabos de sinais próximos aos cabos de energia, a interferência eletromagnética é quase inevitável. Em sistemas de áudio, por exemplo, esse problema pode afetar desde os amplificadores até os cabos coaxiais, distorcendo o sinal de saída da amplificação. (JUNIOR et al., 2013)

Além da utilização de condutores de qualidade, faz-se necessário a utilização de bons conectores, que suportem o fluxo de corrente e tenham bom encaixe com as portas de entradas e saídas dos equipamentos, evitando assim fricções que podem gerar os picos de corrente e sobreaquecimento dos conectores e cabos.

Os ruídos são prejudiciais ao sistema de som. Portanto, durante o projeto de

dimensionamento do sistema, é necessário que todos os equipamentos presentes no sistema sejam de qualidade. Por mais que sejam escolhidos ótimos amplificadores e caixas acústicas, se os cabos utilizados forem suscetíveis a interferência em decorrência da má qualidade, estarem juntos com condutores elétricos ou o circuito de alimentação dos dispositivos não esteja devidamente aterrado todo o sistema será comprometido.

Existem diferentes tipos de cabos de áudio que são divididos em duas categorias: cabos para transmissão de sinal de áudio analógico e cabos de transmissão de sinal de áudio digital.

Os tipos de cabos de áudio analógico disponíveis no mercado são:

a) cabo XLR: são balanceados, possuem dois fios condutores e uma malha aterrada, montados com plugue XLR nas pontas. Encaixam-se bem aos equipamentos, por isso, a chance de serem desconectados caso sejam puxados acidentalmente é menor. São geralmente utilizados na conexão de microfones;
b) cabo TRS: Possuem dois fios condutores e uma malha aterrada, podem ser balanceados ou não-balanceados, dependendo da forma que serão utilizados. São montados com plugue tipo P-10 estéreo;
c) cabo TS: são cabos do tipo monofônico ou mono, da forma abreviada. Neles o som é transmitido por um único canal, por isso, são utilizados em guitarras, sintetizadores e pedais do tipo mono. Esses cabos são do tipo não balanceados, montados com plugues P-10 mono e, por isso, é importante que seja o mais curto possível, de forma a evitar ruídos; e
d) cabo RCA: os cabos RCA são cabos não-balanceados, muito utilizados em sistemas de estéreo, ou seja, naqueles em que o áudio é reproduzido em dois canais, direito e esquerdo, por isso, os conectores RCA vêm em pares (um cabo vermelho e um branco). O vermelho é geralmente usado no canal direito e o branco no canal esquerdo.

Os tipos de cabos de áudio digitais são:

a) cabo SPDIF ou ÓTICO: são cabos que enviam sinal de áudio através de fibra ótica, com conector SPDIF;
b) cabo Coaxial de Áudio Digital: são cabos coaxiais que apesar de montados com conector RCA, também podem levar sinal digital.

5.3.3 Microfone

O termo microfone se refere a qualquer elemento que transforma energia acústica em energia elétrica. Existe uma grande variedade de microfones que realizam a conversão de energia de maneira diferente. (MARINHO,2016 p.44)

Existe também uma variedade de microfones com características construtivas diferentes, estas influenciam diretamente nas faixas de frequências, fidelidade do som capturado e nas aplicações dos microfones.

Os microfones são classificados como dinâmicos ou condensadores.

Os microfones dinâmicos são os mais comuns e mais utilizados em estúdios, auditórios, teatros e palcos abertos, pois são versáteis, robustos, confiáveis, além de terem uma boa resistência a fatores ambientais. Existem dois tipos construtivos de microfones dinâmicos. (MARINHO,2016 p.45)

A seguir serão apresentados os microfones de membrana e o de fita:

a) microfone de membrana: possui um diafragma flexível acoplado a um enrolamento condutor. O enrolamento se move livremente na abertura que há entre os dois imãs permanentes que também constituem o transdutor. (MARINHO,2016 p.45)
b) microfone de fita: o diafragma deste tipo de microfone é uma fita de metal ondulada, leve e fina. Essa fita fica esticada no espaço entre dois ímãs e, portanto, está inserida em um forte campo magnético. (MARINHO,2016 p.45)

Os microfones condensadores são dispositivos mais frágeis que os demais e, por isto, tem seu uso empregado em estúdios de gravações e utilizados para captação de sons de instrumentos e vozes acústicas. Nesses microfones o diafragma é constituído de uma membrana plástica revestida de ouro montado acima de uma placa cerâmica, também revestida de ouro. A membrana e a placa são separadas por um volume de ar, configurando assim um capacitor. Como o diafragma desses microfones são mais leves, a resposta dos condensadores é mais rápida e precisa.

Para o funcionamento do microfone é necessário que o capacitor seja polarizado com uma fonte de energia externa, chamada de *Phantom Power* e que varia de 9 a 48 volts em corrente contínua. (MARINHO,2016 p.46)

Um fenômeno sonoro indesejado, comum durante a utilização dos microfones, é a microfonia ou realimentação positiva do sistema de som. Este fenômeno acontece quando um microfone é ligado próximo a uma caixa acústica resultando em um “barulho” que gera muito

incômodo.

Esse “barulho” (microfonia) acontece sempre que um ruído é captado pelo microfone. Ele emite o som através dos amplificadores e é transmitido, em um volume muito maior, pelas caixas acústicas. Quando o microfone está muito próximo das caixas acústicas, o som do seu próprio ruído é captado. Então, ele volta para o amplificador e sai novamente pelas caixas acústicas, que vão alimentar o microfone. É um ciclo que não tem fim. (SONORIZAÇÃO DE AMBIENTES, 2021)

5.3.4 Mixer

A mesa de som ou *mixer* é um dispositivo musical eletrônico que atualmente podem ser do tipo analógico ou digital, mesmo com as diferenças físicas, ainda assim todas têm o mesmo objetivo, que é misturar e editar os sinais de entrada que são advindos de instrumentos musicais, com o intuito de, por meio de uma combinação desses instrumentos, liberar em sua saída um único sinal, sendo este o somatório dos demais. Os parâmetros de ajuste mais comuns vistos em um *mixer* são o nível de volume do canal, ganho e a equalização de graves, médios e agudos.

Devido ao envolvimento com sinais analógicos, é importante o uso de filtros passivos, que são uma saída simples para diversas aplicações de controle de frequência, muito comum no ramo da eletrônica e do processamento de sinais. Entre os principais objetivos dos filtros está a retirada de ruídos de alta ou baixa frequência de um sinal elétrico, ou mesmo para a seleção de uma determinada faixa de frequência de um espectro muito maior. Os filtros podem ser classificados entre passivos ou ativos, sendo que os passivos utilizam em sua composição capacitores, resistores e indutores.

Os filtros também podem ser classificados em passa-baixa, passa-alta e passa-faixa. Enquanto os filtros passa-baixa são capazes de atenuar as altas frequências, deixando passar apenas as baixas, de forma contrária, os filtros passa-alta são capazes de atenuar as baixas frequências, deixando passar apenas as altas. Já os filtros passa-faixa funcionam unindo as propriedades do filtro passa-alta e passa-baixa, deixando passar apenas uma faixa de tensão.

Outro componente importante na composição de um *mixer* é o uso de amplificadores operacionais, pois o mesmo é utilizado dentro dos filtros e com apenas alguns poucos componentes externos, ele pode ser ajustado de modo a fazer o processamento do sinal.

A Figura 8 apresenta um modelo de mesa de som com 30 canais.

Figura 8 – *Mixer*.



Fonte: Soundcraft

5.3.5 Amplificador

O amplificador de áudio é um equipamento que possui a capacidade de ampliar um baixo sinal elétrico, o sinal, que anteriormente não era capaz de estimular o funcionamento de um caixa acústica, após ser amplificado, ganha a capacidade de estimular as caixas acústicas resultando na reprodução do som.

Existem 3 tipos de amplificadores presentes no mercado, são eles:

a) Amplificadores valvulados: amplificadores que utilizam válvulas como meio de amplificar o seu sinal. Esta é a tecnologia mais ancestral de amplificadores de som, mas a verdade é que continua a ser a mais usada no meio musical (RAMOS, 2021 p. 41);
b) Amplificadores transistorizados: com o aparecimento dos transistores, as válvulas foram sendo substituídas por este novo dispositivo de amplificação de sinal, dando origem aos amplificadores transistorizados; e (RAMOS, 2021 p. 43); e
c) Amplificadores operacionais: os amplificadores operacionais, que usam *amp-op* para realizar a amplificação, são amplificadores criados especialmente para realizar operações matemáticas, daí o seu nome de operacional. Foram criados para implementar os computadores analógicos. (RAMOS, 2021 p. 44).

É o penúltimo estágio (ativo) do sistema de som, antes de finalmente chegar aos transdutores de saída. Os amplificadores de potência, normalmente, possuem somente o ajuste de intensidade do som. (MARINHO,2016 p.44). A Figura 9 apresenta um amplificador de áudio.

Figura 9 – Amplificador.



Fonte: DB Series.

5.3.6 Caixas acústicas

Nos sistemas de som a caixa acústica é o último estágio antes do som atingir o ouvinte. O termo caixa acústica se refere aos transdutores de saída que convertem o sinal elétrico em energia acústica. (MARINHO,2016 p.51)

5.3.6.1 Classificação das caixas acústicas

As caixas de som são divididas em 3 classes, nas quais possuem diferentes aplicabilidades, qualidades de áudio e valores. Sendo elas: caixas passivas, amplificadas e ativas.

a) caixas passivas: as caixas passivas possuem características construtivas mais simples, pois não possuem em sua estrutura amplificadores dedicados que são responsáveis por fazer o ganho do sinal recebido, por isso necessitam de um amplificador independente, sendo que o próprio faz a alimentação das caixas;
b) caixas amplificadas: essas caixas têm em sua estrutura um *crossover* (o *crossover* é um equipamento utilizado para fazer o filtro das diferentes faixas de frequência, sendo que sua utilização permite aproveitar a máxima qualidade sonora de cada caixa acústica)

passivo, responsável por fazer a divisão da frequência entre as caixas acústicas e também possuem um amplificador embutido que tem a função de fazer o ganho do sinal; e

c) caixas ativas: estas caixas possuem uma maior intensidade de volume e níveis de potência superiores às demais, em virtude de terem em sua estrutura dois amplificadores embutidos e um *crossover* ativo. Esse tipo de caixa necessita de uma fonte de energia externa para alimentar os seus componentes e o seu preço é mais elevado do que as outras.

5.3.6.2 Associação de caixas acústicas

As caixas acústicas possuem características relativas à sua capacidade de se opor à circulação de corrente. Esse tipo de parâmetro elétrico é conhecido como impedância e normalmente as caixas acústicas são fabricadas com impedâncias de 4, 8 e 16 Ω. (MARINHO,2016 p.53)

Duas ou mais caixas acústicas estão eletricamente conectadas em série quando a corrente circulando pela bobina de uma delas é a mesma que circula pela bobina das demais. Como consequência disso, se uma delas tiver a bobina interrompida (ou se a ligação nos bornes for desfeita), todas as outras caixas acústicas do circuito deixarão de funcionar, o que é a grande desvantagem desse tipo de ligação. A impedância resultante do sistema se dará pela soma das impedâncias individuais de cada uma delas. (SILVA, 1994)

Associar as caixas acústicas em série é necessário quando elas possuem uma baixa impedância. (MARINHO,2016)

Assim a impedância relativa irá aumentar e a corrente que está circulando nos cabos de conexão será reduzida, nessa configuração a temperatura nos cabos e os estresses elétricos também irão reduzir.

A associação em paralelo faz com que a tensão de saída do amplificador seja a mesma em todas as caixas acústicas que estiverem em paralelo, de modo que se uma delas for desconectada, todas as demais continuarão a funcionar normalmente. (SILVA, 1994)

Se em uma associação em paralelo as duas caixas acústicas forem iguais, a impedância resultante será igual ao valor da impedância de uma das caixas dívida por dois, e sua potência total será o dobro da admitida por cada uma.

5.3.6.3 Exemplos de caixas acústicas

O alcance das ondas sonoras propagadas e a pressão sonora emitida mudam de acordo com o modelo das caixas acústicas. A seguir serão apresentados três modelos de caixas acústicas, sendo eles: *Subwoofer*, Caixas *Standard* e *Line-array*.

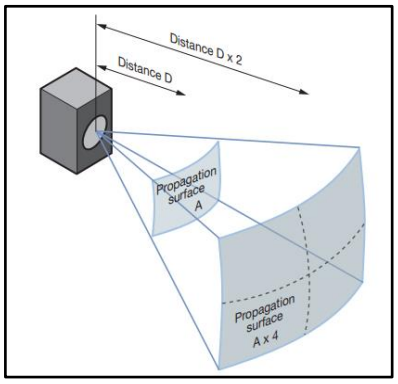
O s*ubwoofer* é uma caixa acústica dedicada à reprodução das baixas frequências de áudio, comumente referidas como sons graves. Sendo ele dividido em dois tipos:

a) *Subwoofer* passivo: este tipo de equipamento precisa ser alimentado por amplificador externo ou por receptores de áudio e vídeo (A/V) e se assemelha a caixa acústicas tradicionais. Outra característica do *subwoofer* passivo é que precisa de mais energia para reproduzir sons de baixa frequência. O amplificador precisa ter capacidade energética para reproduzir os efeitos dos sons graves. (SONORIZAÇÃO DE AMBIENTES, 2021)

b) *Subwoofer* ativo: esse tipo de *subwoofer* conta com caixa acústica independente e amplificador, os dois recursos trabalham em conjunto para proporcionar o desempenho ideal ao aparelho. Com isso, uma alta carga de energia é disparada, permitindo que o aparelho reproduza o som com maior potência. (SONORIZAÇÃO DE AMBIENTES, 2021)

As caixas acústicas *Standard* emitem ondas sonoras que se propagam no formato de uma esfera se espalhando verticalmente e horizontalmente. A cada duplicação de distância, a área de superfície da frente de propagação aumenta por um fator de quatro, fazendo com que a intensidade sonora por unidade de área caia com um fator quatro e o nível de pressão sonora atenue em 6 dB. A Figura 10 exibe a forma de propagação das ondas sonoras de um caixa acústica *Standard*.

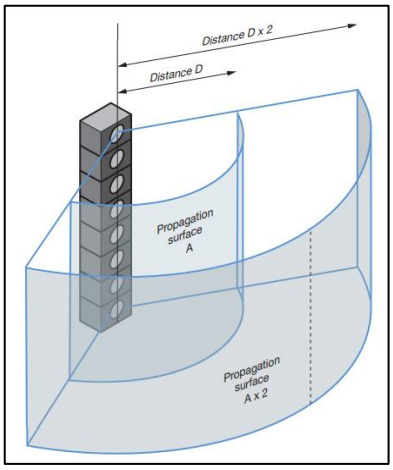
Figura 10 – Forma de propagação das ondas em caixas de som *Standard.*



Fonte: Yamaha.

Como ilustra a Figura 11, diferentemente das caixas acústicas *Standard,* nas caixas acústicas *Line-arrays* as ondas sonoras se propagam em formato cilíndrico, espalhando-se horizontalmente, mas não verticalmente. A cada duplicação da distância, a área de superfície da frente de propagação aumenta por um fator de dois, fazendo com que a intensidade sonora por área caia com um fator dois e a pressão sonora atenue em 3 dB.

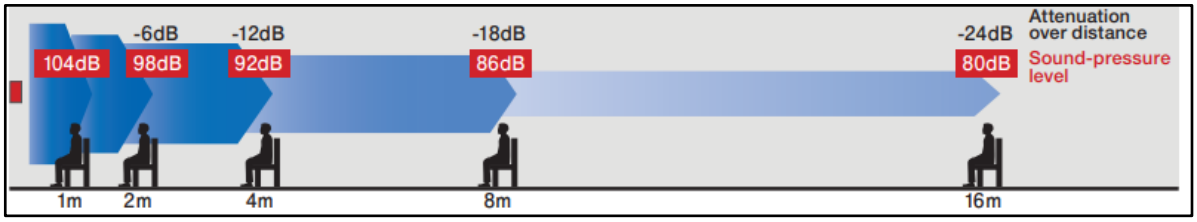
Figura 11 – Forma de propagação de onda em caixas de som *Line-array*.



Fonte: Yamaha

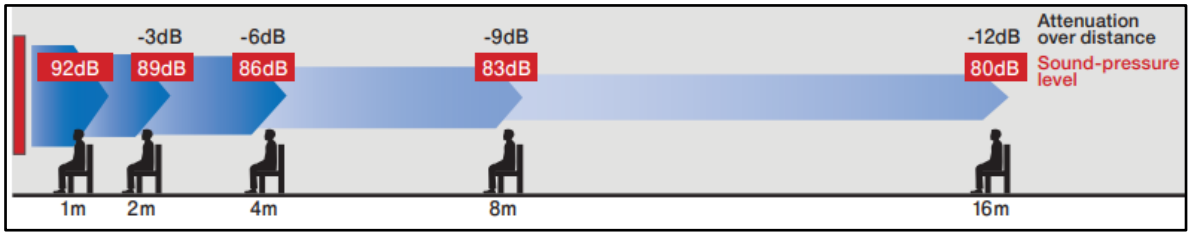
Neste tipo de caixa acústica, a pressão sonora é menos afetada pela distância, o que resulta em uma pressão sonora ampla e capaz de entregar a mensagem a quem estiver posicionado a uma maior distância, sem aumentar excessivamente o volume das caixas de som. A Figura 12 apresenta a relação entre o aumento distância e perda de pressão sonoras para caixas acústicas *standard* e a Figura 13 apresenta a relação entre o aumento distância e perda de pressão sonoras para *line-array*.

Figura 12 – Aumento de distância e perda de dB em caixas *standard*.



Fonte: Yamaha.

Figura 13 - Aumento de distância e perda de dB em caixas *line-array.*

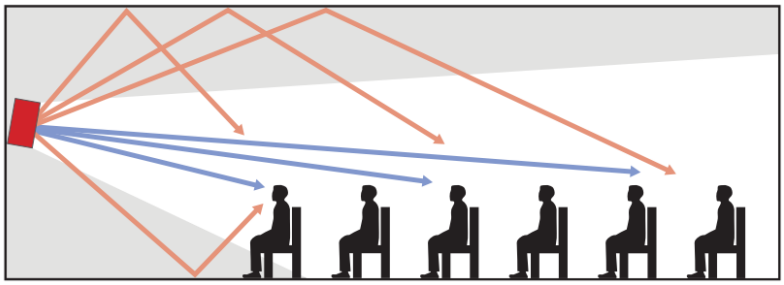


Fonte: Yamaha.

Se comparadas com as caixas *standard*, quando instaladas em ambientes fechados, as caixas *line-array* induzem menos reflexões indesejáveis. Isso ocorre em decorrência da baixa dispersão das ondas sonoras no plano vertical que reduz a quantidade de reflexões nas superfícies como o teto e o piso, fazendo com que as ondas viajem ordenadamente para a audiência e livre de reflexões, fazendo com que o áudio seja entendido com maior clareza.

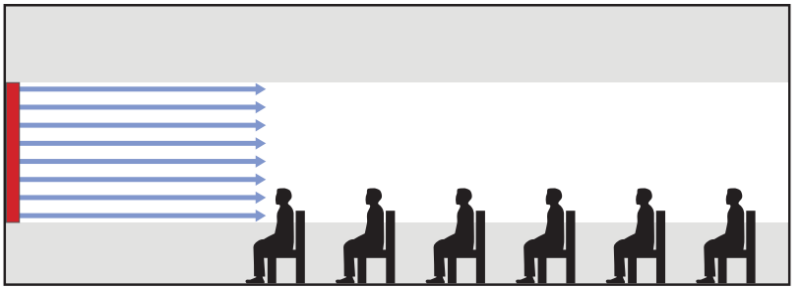
A Figura 14 e Figura 15 apresentam, respectivamente, o desempenho das caixas acústicas *standard* e das caixas acústicas *line-array* quando instaladas em ambientes fechados.

Figura 14 – Reflexões indesejáveis.



Fonte: Yamaha.

Figura 15 – Propagação ordenada.



Fonte: Yamaha.

As caixas acústicas *line-array,* diferentemente das caixas acústicas *standard,* possuem uma baixa probabilidade de ocorrência da microfonia, pois esse modelo de caixa divide a potência sonora, que está sendo emitida, em várias unidades de caixa acústicas, sendo assim, caso o microfone fique à frente do emissor de áudio, ele irá captar apenas uma parcela da energia

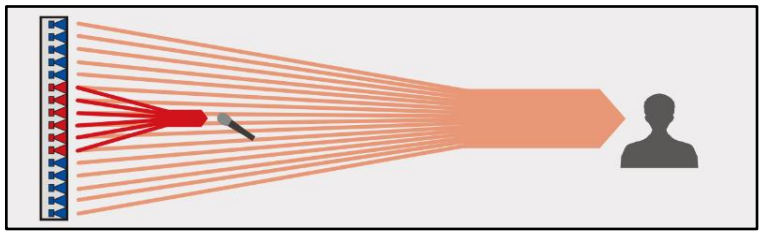
propagada. A Figura 16 e a Figura 17 apresentam, respectivamente, a captação de energia quando o microfone é posicionado à frente de uma caixa acústica *standard* e uma caixa acústica *line-array.*

Figura 16 – Captação completa da energia emitida pela caixa de som.



Fonte: Yamaha.

Figura 17 – Captação de uma parcela da energia emitida pela caixa de som.



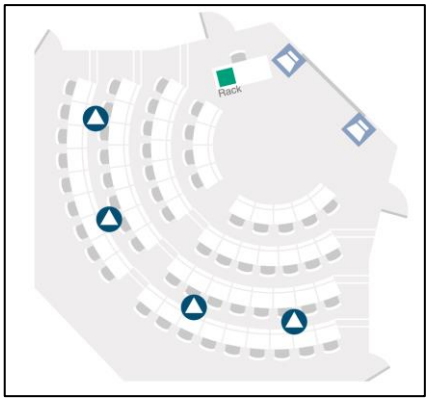
Fonte: Yamaha.

5.4 EXEMPLOS DE SISTEMAS

A seguir serão apresentados dois exemplos de sistemas projetados pela Yamaha para ambientes acadêmicos.

O primeiro sistema, ilustrado na Figura 18, conta com caixas acústicas estéreo instaladas à esquerda e direita da tela, à frente da sala, para que fosse promovida uma boa qualidade de som estéreo. Também foram adicionadas caixas de embutir no teto, instaladas à esquerda e à direita dos acentos, ao fundo da sala, para que haja volume suficiente para atingir os participantes que estiverem mais distantes. Os microfones, computadores e amplificadores são alocados em um único ponto: o *rack.*

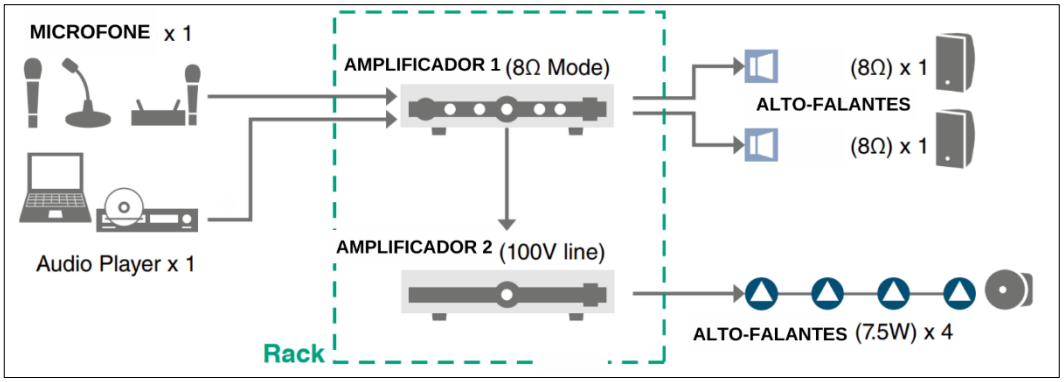
Figura 18 – Sistema 1.



Fonte: Yamaha (2019).

Além do projeto de distribuição de caixas de som, também foi elaborado um diagrama de conexões dos equipamentos que devem ser utilizados para atender as demandas desse ambiente, o diagrama apresentado na Figura 19.

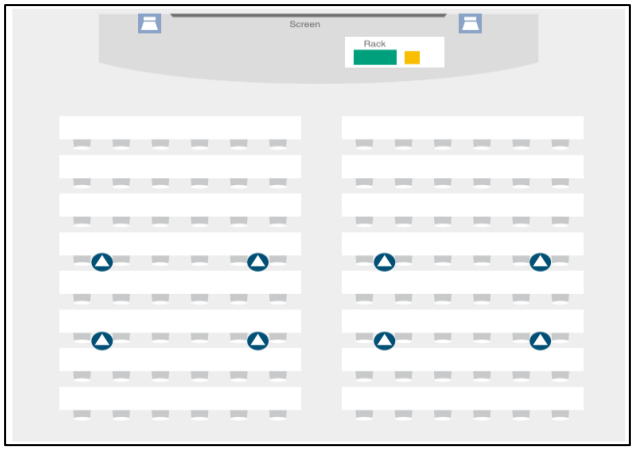
Figura 19 – Diagrama 1.



Fonte: Yamaha (2019), adaptado pelos autores.

Assim como o sistema 1, no sistema ilustrado na Figura 20 também foram posicionados caixa acústicas estéreo à esquerda e direita da tela na frente da sala, porém como o *layout* desse ambiente é diferente do projeto anterior, as caixas de embutir no teto tiveram que ser distribuídas de forma diferente a atender o público que ficará sentado mais distante da tela. Os microfones, computadores e dispositivos reprodutores também foram alocados em um *rack*. Mas, o que difere este sistema do sistema anterior, além do novo arranjo de distribuição das caixas, é o fato de ter sido adicionado um controlador de fácil manuseio que seleciona a fonte sonora e também faz ajustes de volume para facilitar e centralizar as operações diárias.

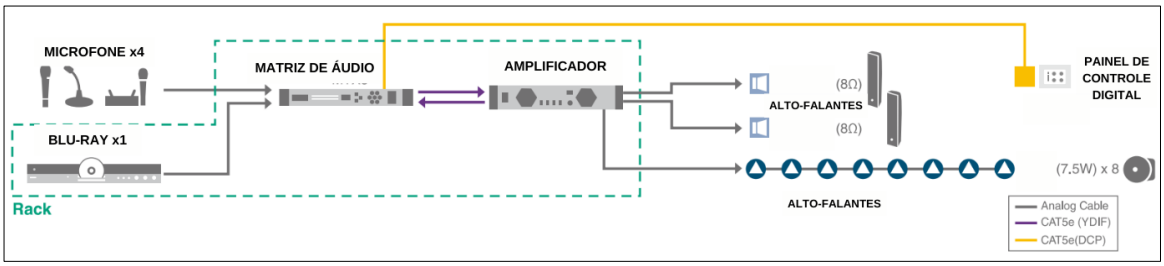
Figura 20 – Sistema 2.



Fonte: Yamaha (2019).

O diagrama de conexões dos equipamentos utilizados no segundo sistema é apresentado na Figura 21.

Figura 21 – Diagrama 2.



Fonte: Yamaha (2019), adaptado pelos autores.

A partir dos exemplos apresentados, é possível perceber que cada ambiente possui as suas singularidades, sendo assim, é imprescindível a elaboração de um projeto de sonorização profissional antes de adquirir os equipamentos, pois durante o processo de criação desse projeto são analisadas todas as características físicas do local e necessidades sonoras do ambiente para que o projeto seja integralmente adequado.

6 DESENVOLVIMENTO

6.1 FERRAMENTA DE MEDIÇÃO E *SOFTWARES* UTILIZADOS

A seguir será apresentada a ferramenta utilizada para as aferições e os *softwares* utilizados no desenvolvimento do projeto.

6.1.1 Decibelímetro

Decibelímetro é um dispositivo aferidor dos níveis de pressão sonoras, possui na parte superior um microfone com um alto grau de sensibilidade a ruídos. Sua função é captar as ondas sonoras e, em seguida, transformá-las em um sinal elétrico e encaminhar para o circuito de medição do equipamento. O microfone possui uma proteção denominada de protetor de vento, pois qualquer vento soprado próximo a ele vai aumentar a geração de ruídos, interferindo na medição, sendo assim, é de vital importância o uso do protetor para que a coleta de dados seja precisa.

Foi utilizado nas medições um decibelímetro digital, com *datalogger* KR843, que possui um microfone capacitivo pré-polarizado e filtros que permitem a aferição do nível de pressão sonora (SPL) em ambas as ponderações de frequência (A e C). A medição em dBA é mais eficaz para frequências médias (ex.: voz), enquanto a dBC é mais utilizada para a medição de ruídos de frequências altas e baixas (ex.: máquinas, equipamentos industriais e instrumentos musicais). Ele também possui resposta rápida *(FAST)* e lenta *(SLOW)*.

É importante ressaltar que o decibelímetro utilizado para a coleta de dados deste trabalho foi devidamente calibrado e o seu certificado de calibração encontra-se no Apêndice A.

6.1.2 EASE Focus 3

EASE Focus 3 é um *software* gratuito de simulação acústica para modelos em 3D de todos os tipos de caixas de áudio. Com esse programa é possível definir as áreas de audiência, visualizações de seção e locais de receptores, calcular a cobertura sonora, a resposta de frequência e usar produtos de diferentes fabricantes em um único projeto.

Através desse *software* é possível simular a performance acústica do sistema completo para encontrar a configuração ideal para um determinado local com várias áreas de audiência com assentos curvados e inclinados.

6.1.3 NS-1

O NS-1 é um programa de simulação acústica desenvolvido pela NEXO, uma unidade de negócios estratégica da *Yamaha Corporation,* responsável por projetar e produzir caixa acústicas, capaz de simular níveis de pressão sonora e a cobertura de atraso em três dimensões, utilizando a análise de dados das caixas acústicas processados juntamente com dados matemáticos.

Este *software* combina computação acústica e mecânica completa, possui também a função de gerar gráficos de pressão sonora presentes no ambiente, apresentando a média dos decibéis e os seus valores máximos e mínimos.

6.2 DADOS COLETADOS

Durante a visita técnica ao auditório foram identificados problemas nos cabos e conectores que compõem a transmissão do sinal de áudio, mau funcionamento das caixas acústicas e o arranjo incorreto das caixas de som.

A distribuição dos cabos de áudio foi realizada nos mesmos eletrodutos em que foram

lançados os condutores elétricos, a interferência eletromagnética resultante dessa circunstância é perceptível durante o funcionamento do sistema, visto que as caixas acústicas emitem uma espécie de “zumbido” que dificulta a inteligibilidade do áudio principal.

Os conectores que vinculam as fontes de sinais à mesa de som foram isolados de forma improvisada, utilizando fita isolante, resultando no mau contato entre os equipamentos. A fricção gerada por essas conexões ruins foi constatada ao decorrer das aferições dos níveis de pressão sonora emitidos pelas caixas acústicas, pois o grau de dB irradiado pelas caixas de som diminuíram e aumentaram aleatoriamente inúmeras vezes. A Figura 22 exibe o problema mencionado acima.

Figura 22 – Isolamento inadequado.



Fonte: Autores (2022)

Por outro lado, se analisados somente os cabos, de acordo com o que foi possível observar pela parte que fica exposta na cabine, aparentam estar bons. Para certificar se há algum dano em sua isolação ou se em alguma parte dele ocorreu emendas é necessário a remoção dos cabos, porém esta ação não é viável, pois remover os cabos poderá avariar o condutor e/ou danificar outros circuitos presentes no eletroduto, o mais aconselhado é que sejam feitas novas rotas, exclusivas para os cabos de áudio e feito uma nova instalação. Instalação esta que poderá garantir a eficiência dos isolamentos, eliminando as interferências causadas pelos condutores de alimentação.

A fim de determinar a qualidade de operação das caixas de áudio foram aferidos os níveis de pressão sonora emitidos de cada uma. As medições realizadas com o uso do decibelímetro, constataram o mau funcionamento das caixas acústicas, visto que por serem iguais, quando submetidos aos mesmos ajustes de amplificação e volume, propagaram diferentes valores de pressão sonora. O Quadro 2 apresenta os níveis de pressão sonora aferidos.

Quadro 2 - Nível de pressão sonora emitida pelas caixas acústicas.

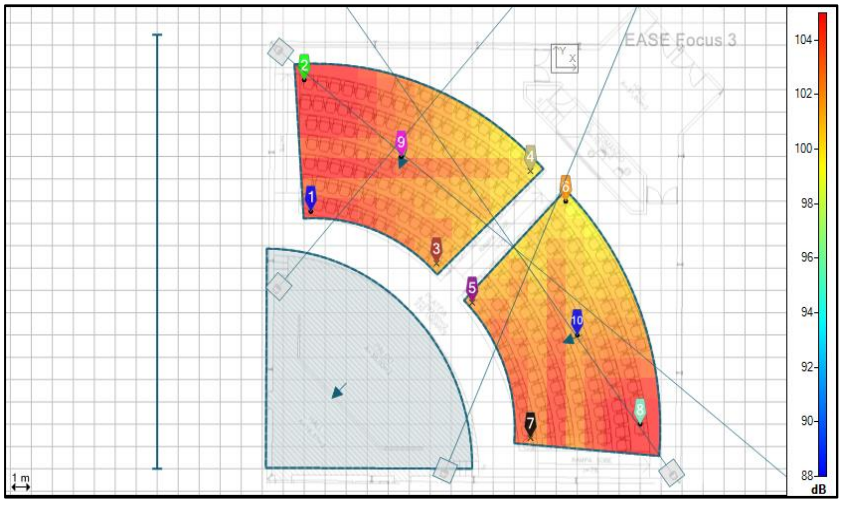
Caixa acústica	**Nível de Pressão Sonora (dB)**
Frontal Esquerda	89
Frontal Direita	80
Lateral Esquerda	88
Lateral Direita	79

Fonte: Autores (2022)

Além do problema de divergência nos valores de decibéis emitidos pelas caixas, outro fator que contribui para a má qualidade de áudio do auditório é o posicionamento inadequado das caixas acústicas. Através das simulações feitas no *software EASE Focus 3* foi comprovado que a distribuição atual delas no auditório é inadequado.

A Figura 23 ilustra a distribuição de pressão sonora resultante do posicionamento atual das caixas de áudio.

Figura 23 – Distribuição de pressão sonora atual do auditório.



Fonte: Autores (2022).

Os ouvintes, representados na imagem pelos números que vão de 1 a 10, estão expostos a diferentes níveis de pressão sonora que variam de 95 dB a 102 dB.

A dispersão no ambiente é classificada como ruim, visto que possui uma variação acima de 6 dB, pois em ambientes onde há uma discrepância na pressão sonora acima de 6 dB torna-se perceptível a falta de uniformidade do áudio, fazendo com que os ouvintes mais próximos

do eixo de dispersão da caixa tenham uma maior percepção sonora que os ouvintes mais afastados.

Sendo assim, para atender os ouvintes mais distantes das caixas é necessário um aumento excessivo do volume do som, o que causa desconforto sonoro a parte do público que se encontra mais próximo das caixas acústicas.

Além disso, outro fator que deve ser levado em consideração é que os modelos de caixas acústicas presentes no auditório não são os mais indicados para o local, em virtude de causarem um alto índice de reflexões indesejadas. Este fator prejudica a linearização do som, uma característica que é determinante para a qualidade de áudio, pois estas reflexões prejudicam o ouvinte de compreender com clareza o som que está sendo transmitido.

Outro ponto é que o painel multicabos medusa presente no auditório, ilustrado na Figura 24, se encontra bastante avariado. Ele é de vital importância para toda cadeia sonora, uma vez que, é uma extensão reforçada com o objetivo de distribuir os sinais de áudio que chegam nos seus terminais a partir das fontes sonoras. Sendo assim, ela pode executar a função de interligar o *mixer* (uma fonte sonora) com os instrumentos, ligar os microfones que estão distantes, conectar caixas acústicas e etc.

Figura 24 – Painel multicabos medusa presente no auditório.



Fonte: Autores (2022).

Por outro lado, o amplificador e o *mixer* instalados atualmente não possuem danos aparentes, porém, assim como o *mixer* anterior que foi danificado, estão suscetíveis a manuseio de operadores inexperientes, pois o IFTO, *Campus* Palmas, não possui um técnico de som disponível para operar o sistema durante os eventos, podendo causar avarias a esses equipamentos em decorrência do mau uso. Danos nesses aparelhos comprometem o sistema inteiro, por isso é mais viável que estes equipamentos sejam substituídos por aparelhos de fácil utilização, que durante a sua instalação seus modos de operação sejam configurados de forma personalizada para cada tipo de evento que ocorre no auditório.

Os microfones utilizados não apresentam nenhum problema em seu funcionamento, não sendo necessário suas substituições.

6.3 PROJETO FINAL

Neste tópico serão apresentadas as simulações do projeto proposto para o auditório central do IFTO, *Campus* Palmas, o diagrama de ligação dos equipamentos e o projeto de infraestrutura e cabeamento.

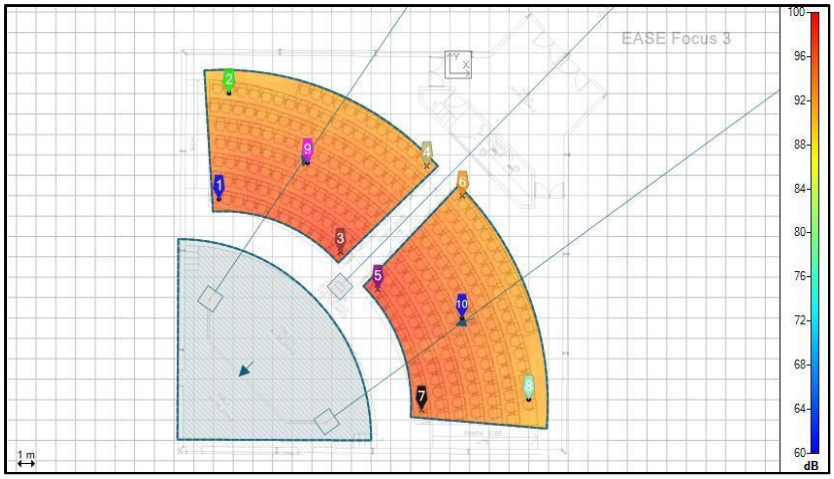
6.3.1 Simulações

No projeto de sonorização do auditório central do IFTO, *Campus* Palmas, foram utilizadas as caixas acústicas *line-array*, pois elas reduzem a quantidade de reflexões indesejadas e abrange maiores distâncias com pouca redução da pressão sonora, e o *subwoofer* para reforçar os graves, uma vez que o auditório recebe apresentações musicais.

O modelo de *line-array* escolhido dispensa a utilização de caixas para retorno, pois de acordo com o manual do fabricante, as caixas de som possuem uma abertura de 170º. Graças a este ângulo de abertura e a posição que as caixas serão instaladas, toda a zona do palco será atendida, não havendo assim a necessidade da utilização de caixas para retorno no projeto.

Para comprovar a eficácia do sistema proposto, foram realizadas simulações por meio dos *softwares EASE Focus 3* e NS-1. A Figura 25 exibe os resultados obtidos na simulação feita no *EASE Focus 3*.

Figura 25 – Distribuição de pressão sonora do sistema proposto.



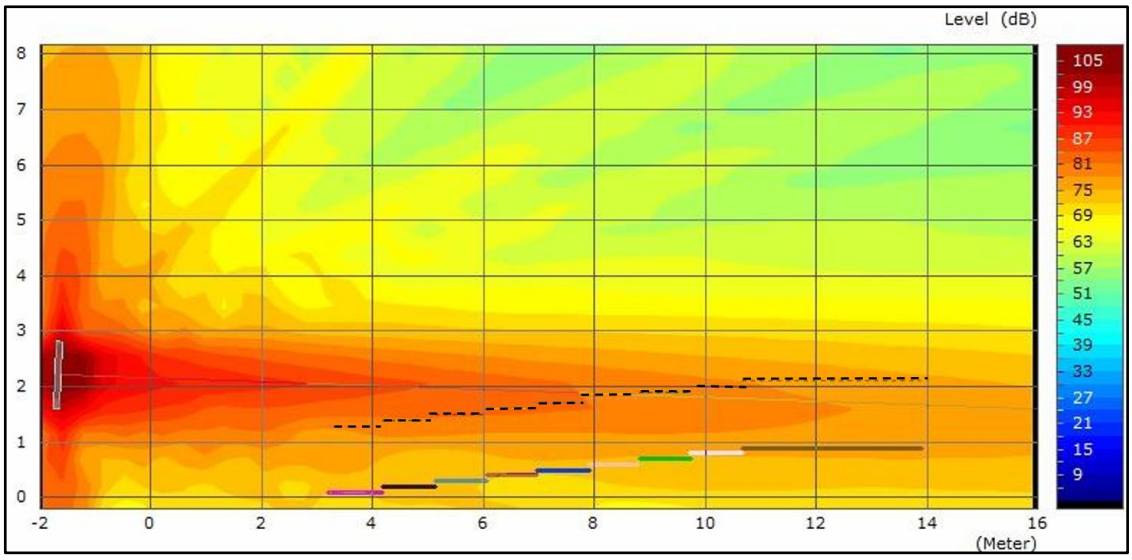
Fonte: Autores (2022).

Utilizando 2 caixas acústicas *line-array,* posicionadas em cima do palco do auditório e um *subwoofer* no teto com o cone voltado para baixo, a distribuição de som torna-se mais linear. Pois os pontos mais próximos das caixas de som - 1, 3, 5 e 7 - estão submetidos a níveis de pressão sonora que vão de 96 dB a 97 dB, enquanto que pontos mais distantes das caixas acústicas - 2, 4, 6 e 8 - variam de 92 dB a 93 dB. A máxima diferença de pressão sonora entre o ponto mais distante das caixas e o ponto mais próximo é de 5 dB. Portanto, independentemente da posição em que estejam os ouvintes, a sensação de intensidade sonora será a mesma.

A simulação elaborada no NS-1, diferente da simulação feita no *EASE focus* 3, leva em consideração a interação das ondas sonoras com as paredes, forro e piso do recinto. Em virtude desta função as simulações feitas apresentam uma maior fidelidade à interatividade das ondas com o ambiente em que se propagam.

Como as caixas acústicas *line-array só* possuem dispersão horizontal, o seu arranjo ideal no auditório do *campus* é em cima do palco, com o seu eixo vertical posicionado a uma altura em que a sua dispersão de energia alcance as alturas médias dos ouvidos dos ouvintes. A Figura 26 apresenta uma vista lateral do auditório com a caixa de som posicionada na elevação ideal, as linhas contínuas representam os patamares dos acentos e a linhas tracejadas simboliza a altura média dos ouvidos do ouvinte.

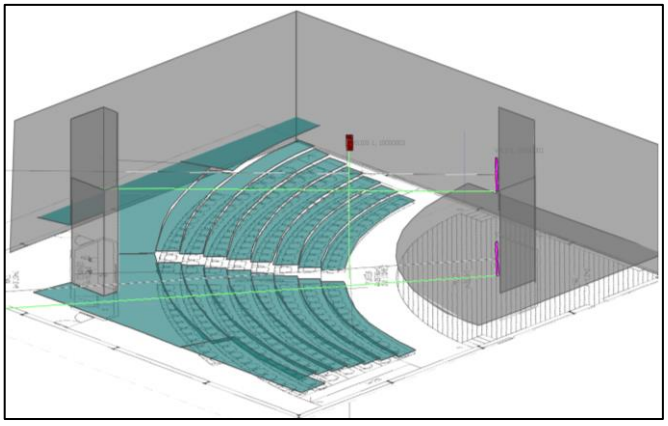
Figura 26 – Vista lateral do posicionamento da *line-array*.



Fonte: Autores (2022).

O mesmo arranjo de equipamentos - modelos, quantidade e posições - utilizados na simulação do projeto final no *EASE Focus* 3, foram implementadas no NS-1. A Figura 27 mostra em 3D a disposição dos aparelhos. As caixas de som *line-array* estão na cor rosa e o *subwoofe*r em vermelho. É importante ressaltar que as dimensões reais do recinto e os desníveis dos assentos foram implantadas criteriosamente no *software*.

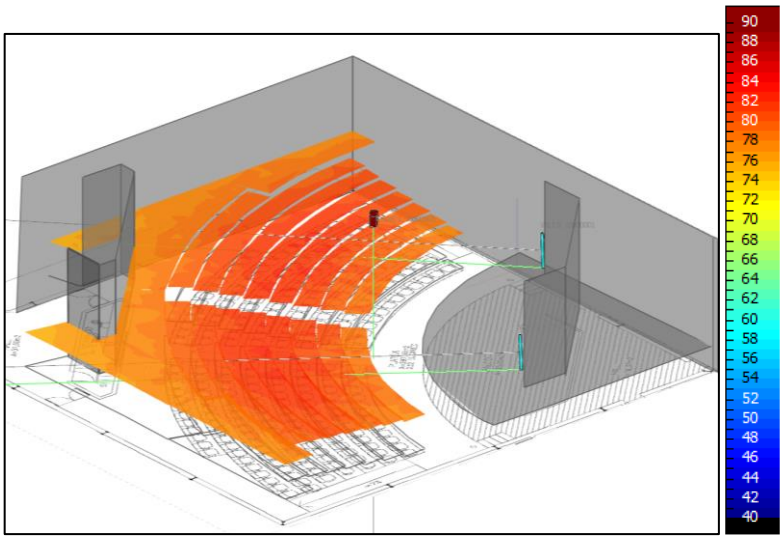
Figura 27 – Arranjo das caixas acústicas.



Fonte: Autores (2022).

A Figura 28 apresenta o resultado da simulação do posicionamento proposto, indicando uma distribuição uniforme do som, visto que a variação dos níveis de pressão é de 4 dB, alternando entre 82 dB no centro das zonas de audiência para aproximadamente 78 dB nas extremidades.

Figura 28 – Distribuição mais realista dos níveis pressão resultantes do arranjo proposto.



Fonte: Autores (2022).

Em comparação com os resultados obtidos pelo *EASE Focus* 3 a variação de pressão no ambiente permaneceu praticamente igual, porém quando comparado as escalas de decibéis de cada *software* existe uma discrepância que varia de 10dB a 15dB entre eles, mas as simulações realizadas no NS-1 se encontram dentro do padrão de decibéis estabelecido para as atividades realizadas neste ambiente, conforme a Figura 5.

6.3.2 Sistema de sonorização proposto

O projeto de sonorização desenvolvido propõe um sistema sonoro eficiente, inteligente e sofisticado, sendo composto por dois amplificadores, um processador de matriz (*mixer*), um painel de volume digital de som e três caixas acústicas, sendo duas delas *line-array* e uma *subwoofer*.

Os amplificadores selecionados contam com:

a) um *setup* fácil e intuitivo, para atender diversos níveis de configurações sonoras, esses amplificadores oferecem configurações básicas e avançadas. O modo básico permite que operadores inexperientes configurem um sistema que atende às suas necessidades. Enquanto o modo avançado é direcionado para operadores experientes que necessitam de um controle mais preciso de todos os aspectos do seu sistema de som. Cada modo apresenta oito predefinições programáveis para recuperação instantânea, as

configurações podem ser salvas em drive e compartilhadas com outros amplificadores do mesmo modelo;

b) uma variedade de conexões de entrada e saída, oferecendo flexibilidade para que equipamentos de diferentes conectores possam ser interligados ao sistema de som;
c) função que permite a combinação de energia dos dois canais em único canal para acionar caixa acústica de alta potência quando for necessário;
d) um assistente de configuração que auxilia o operador reduzindo o tempo de instalação, basta o operador selecionar o filtro e o *crossover* apropriado para as caixas acústicas, que o assistente de configuração fará o resto;
e) uma função que bloqueia o painel para manter em segurança as configurações feitas.

A matriz de processamento, *mixer*, escolhida possui um *software* exclusivo para configurar e salvar as suas funções. O *software* desse *mixer* permite que sejam organizados *layouts* personalizados, adequando o sistema de som para atender diferentes tipos de eventos. Para cada *layout* são adicionados os dispositivos que serão utilizados e determinados os componentes de processamento, também podem ser especificados os padrões de música e os tempos de reprodução de acordo com o dia da semana e as horas de operação.

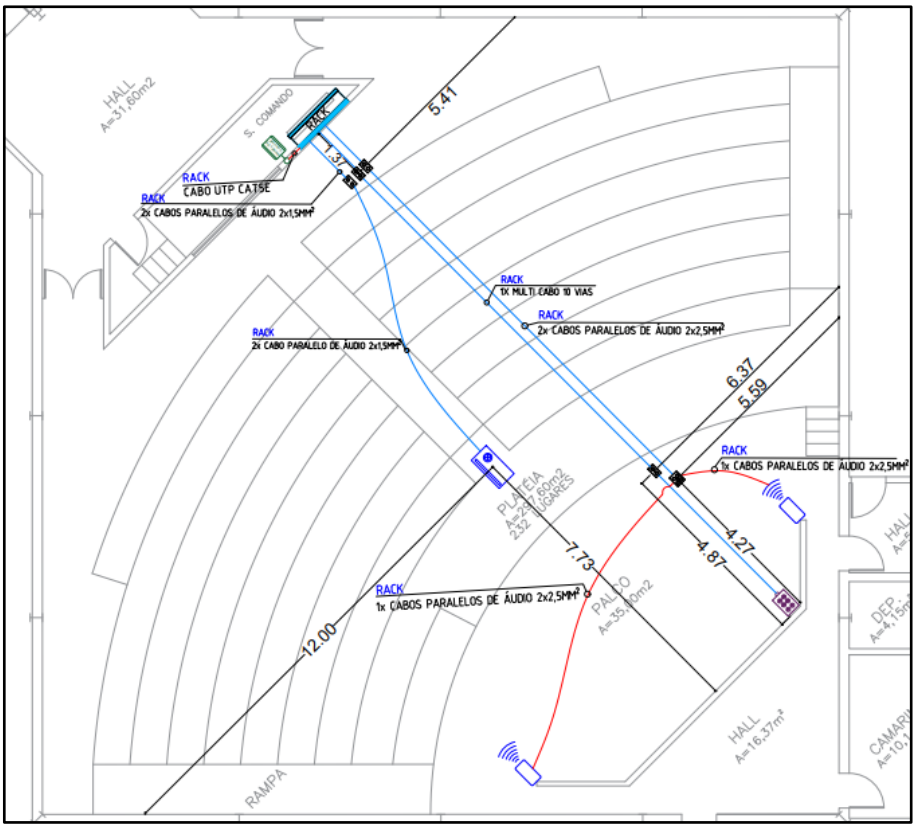
O *mixer* definido também possui a opção de controlar o volume e a comutação, liga/desliga, dos *layouts* pré-determinados por meio de um painel de controle. O painel selecionado para o auditório possui quatro botões reguladores de volume e quatro interruptores de comutação.

E por ser um espaço acadêmico, o auditório exige grande clareza de som, as caixas acústicas ideais para esse espaço são as caixas acústicas *line-arrays*, que por sua vez, diminuem as reflexões indesejadas, microfonia e abrange maiores distâncias com baixa perda de pressão sonora. E por ser um ambiente multiuso que recebe apresentações musicais, foi adicionado um *subwoofer* para realizar o reforço sonoro dos graves.

O modelo de *line-array* escolhido possui dimensões e peso que facilitam a sua instalação na parede côncava acima do palco, o modelo de *subwoofer* selecionado dispõe de um *design* que permite a instalação de um suporte para sua fixação no forro.

O projeto de infraestrutura, Figura 29, apresenta como deverão ser executadas as rotas para lançamentos de cabos, posições dos equipamentos com as devidas cotas e os condutores específicos para a conexão entre os aparelhos.

Figura 29 - Projeto de Infraestrutura.



Fonte: Autores (2022).

A Figura 30 apresenta o carimbo do projeto com a contabilização dos cabos, eletrodutos e legenda dos símbolos.

Figura 30 – Carimbo do projeto de infraestrutura.

PROJETO DE SONORIZAÇÃO DO AUDITÓRIO CENTRAL

LEGENDA

SÍMBOLO	EQUIPAMENTO	ALTURAS E ESPECIFICAÇÕES
	CONTROLADOR DE VOLUME	EMBUTIDA NA PAREDE A 1,20 M DE ALTURA
	PAINEL MULTICABO 10 VIAS XLR	SOBREPOSTA NO PISO
	SUBWOOFER	FIXADO NO FORRO
	ALTO-FALANTE LINE-ARRAY	FIXADO NA PAREDE COM A BASE A 0,8 M ALTURA

CX. EMBUTIR 4X2 | CAIXA EMBUTIR 4X4 | RACK CAIXA DE EMBUTIR 20X19 | TUB. DE 1" AÉREA E PAREDE | TUB. DE 3/4" AÉREA E PAREDE

QUANTITATIVO DA INFRAESTRUTURA

DESCRIÇÃO	DIMENSÃO	QUANTIDADE
ELETRODUTO CORRUGADO	1"	60 METROS
ELETRODUTO CORRUGADO	3/4"	20 METROS
CAIXA DE PASSAGEM	4x2	4
CAIXA DE PASSAGEM	4x4	1
CAIXA DE PASSAGEM	20x19	1

QUANTITATIVO DE CABOS

CABO	METRAGEM
MULTI CABO 10 VIAS	35 M
UTP CAT5E	3 M
PARALELO DE ÁUDIO 1,5MM²	25 M
PARALELO DE ÁUDIO 2,5MM²	50 M

Fonte: Autores (2022).

A seguir serão listados os equipamentos necessários para a execução do sistema proposto, juntamente com as especificações individuais de cada aparelho.

a) 2 x Caixas acústicas *line-array.*

- 24 *Drivers full-range* compactos de 1,5”.
- Faixa de frequência: 77 Hz – 20 KHz.
- Cobertura nominal na horizontal: 170°.
- Cobertura nominal na vertical: 15° (+7,5° – -7,5°) (normal), 20° (+7,5° – -12,5°) (*wide*).
- Potência nominal PGM: 220 W.
- Impedância nominal: 8 Ohms.
- SPL (sensibilidade 1W; 1m no eixo): 91 dB SPL.

b) 1 x Amplificador classe d para caixas *line-array*.

- Potência de saída em 8 ohms: 500 W X 2.
- Potência de saída em 4 ohms: 800 W X 2.
- Taxa de amostragem: 48 KHz.
- Distorção harmônica Total: 0,1% (1 kHz, 10W).
- Conectores de entrada: 2 XLR-3-31.
- Conectores de saída amplificada: *Neutrik speakON* NL4 x 2.
- Faixa de frequência: 77 Hz – 20 KHz.

c) 1 x *Subwoofer* Passivo.

- *Woffer* 10” com bobina dupla.
- Faixa de frequência: 45 Hz – 250 KHz.
- Potência nominal PGM: 200 W + 200 W.
- Impedância nominal: 8 + 8 Ohms.
- SPL (Sensibilidade 1W; 1m no eixo): 96 dB SPL.

d) 1 x Amplificador classe d para caixas *line-array.*

- Potência de saída em 8 ohms: 500 W X 2.
- Potência de saída em 4 ohms: 800 W X 2.
- Taxa de amostragem: 48 KHz.
- Distorção Harmônica Total: 0,1% (1 kHz, 10W).
- Conectores de entrada: 2 XLR-3-31.
- Conectores de saída amplificada: *Neutrik speakON* NL4 x 2.

e) 1 x Amplificador para *subwoofer* passivo.

- Potência de saída em 8 ohms: 300 W X 2.
- Potência de saída em 4 ohms: 500 W X 2.
- Taxa de amostragem: 48 KHz.
- Distorção harmônica total: 0,1% (1 kHz, 10W).
- Conectores de entrada: 2 XLR-3-31.
- Conectores de saída amplificada: *Neutrik speakON* NL4 x 2.

f) 1 x Processador de matriz.

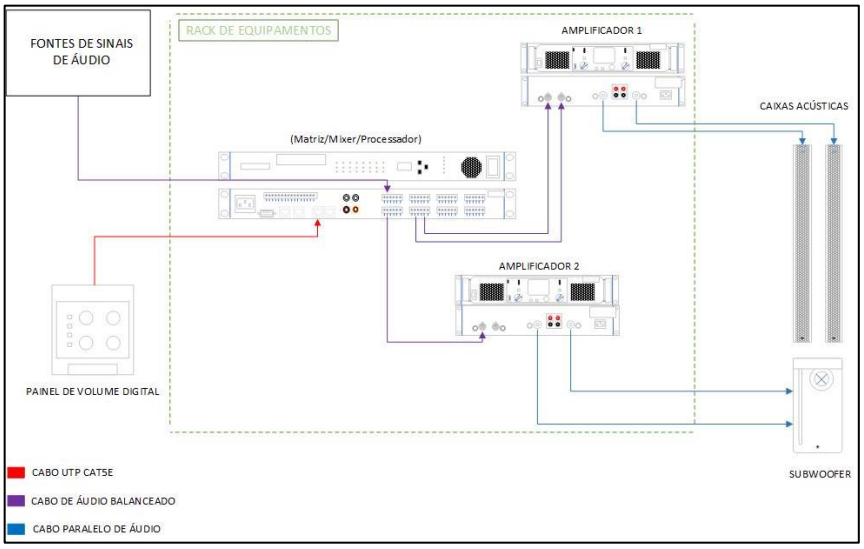
- Função *automixer* com supressão de ruídos por *feedback*.
- Configuração por *software*.
- Controle por dispositivos externos: aplicativos para *tablet*, *Ipad* e celular. E portas de controle para utilização de *keypads* para seleção de configurações e cenas.
- Oito canais de entrada microfone/*line in* e oito canais de saída analógica.
- Entrada/Saída digital YDIF de dezesseis canais.

g) 1x Painel de controle digital (*keypad*).

- Painel de controle para seleção de cenas e controle de volume.

A Figura 31 mostra, de forma gráfica, as conexões dos equipamentos de áudio que serão utilizados e os tipos de cabos que deve ser utilizado em cada ligação.

Figura 31 - Diagrama de conexão dos equipamentos do sistema de sonorização proposto.



Fonte: Autores (2022).

6.4 ORÇAMENTO

Abaixo é apresentado, o valor total para implementação do sistema proposto (Quadro 4). O investimento descrito abaixo não há um retorno monetário, pois o sistema de áudio não tem como objetivo gerar uma economia financeira ao *campus* e sim gerar qualidade de funcionamento.

Quadro 3 - Orçamento total para a execução do projeto de sonorização.

ORÇAMENTO TOTAL PARA O INVESTIMENTO	
Item	**Valor médio de mercado**
Infraestrutura	R$300,00
Cabos	R$2.700,00
Mão de Obra	R$20.000,00
Equipamentos	R$78.453,00
VALOR TOTAL	**R$101.453,00**

Fonte: Autores (2022).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho analisou o desempenho do sistema de áudio do auditório central do IFTO, *Campus* Palmas, identificando e expondo os fatores responsáveis por promover os distúrbios sonoros do recinto. A aquisição e instalação equivocada de dispositivos que entregam uma má qualidade de áudio para este espaço acadêmico de grande valia, evidenciou a influência que um projeto de sonorização tem sob o funcionamento assertivo de um sistema de som.

O estudo teve seus objetivos específicos alcançados, levando em consideração que foram identificadas e analisadas as necessidades de áudio do auditório, realizado medições da pressão sonora no ambiente e simulações em *softwares* para verificar o desempenho das caixas acústicas baseados em seus posicionamentos e, através dos resultados obtidos, foi desenvolvido um projeto de sonorização junto com o diagrama dos equipamentos que atendam as demandas do local.

Foram realizadas medições no recinto para analisar o desempenho das caixas acústicas nas posições em que se encontram atualmente, por meio da aferição dos níveis de pressão sonora emitida de cada caixa acústica. Também se verificou a homogeneidade de propagação do som em pontos específicos da sala, sendo constatados a falta de uniformidade em sua distribuição em decorrência do posicionamento equivocado das caixas acústicas, somado às pressões divergentes emitidas pelas caixas acústicas. Além disso, durante as medições, notou-se interferência elétrica nos cabos de áudio causada pela sua proximidade aos cabos de energia.

A implantação do projeto resultante deste TCC substituirá o sistema de som instalado atualmente no auditório central do *Campus* Palmas e corrigirá as deficiências sonoras apresentadas, visto que o projeto proposto determina uma distribuição apropriada das caixas acústicas e apresenta um arranjo de equipamentos modernos e de fácil utilização, de forma que irá atender às necessidades deste espaço multiuso.

Como sugestão para trabalhos futuros é indicado o desenvolvimento de um estudo da acústica do auditório, visando o máximo aproveitamento do sistema instalado.

REFERÊNCIAS

BORGES, Antonio Newton; RODRIGUES, Clóves Gonçalves, **Introdução a física acústica,** 2016.

DB SERIES. **Amplificador DS 400**. Disponível em < https://www.dbseries.com.br/equipamentos/install/amplificador-ds400> Acesso em: 30 de set. de 2022.

EARGLE, J. **JBL System Design Reference Manual**, JBL, Norhridge, 1999.

EVEREST, F. Alton; POHLMANN, Ken. C. **Master Handbook of Acoustics**, 5ª ed. New York: McGraw-Hill, 2009.

JUNIOR, M. C.; FELIPIM, E. J.; GONZALES, A. F. S. **Interferência eletromagnética entre um cabo de baixa tensão e um cabo de sinal em par trançado**. Dissertação (B.S. thesis) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. Metodologia do trabalho científico. 4.ed. São Paulo: Atlas, 1992

LAZZARINI, Victor. **Elementos de Acústica**. National University of Ireland. Londrina, jul. 1998.

MARCO, C. S. D. **Elementos de Acústica Arquitetônica**, São Paulo: Nobel, 1982

MARINHO, Luccas Enoque. **Projeto de Sonorização para o Auditório do *Campus* I do CFET-MG**, 134 folhas. Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica – Curso de Engenharia Elétrica do CEFET-MG, 2016.

NR-15. **Atividades Insalubres**.13 de Abr. 2022.

PASSOS, Pedro Merencio Primo. **Implemento digital de efeitos de áudio:** Atraso & Reverberação**.** 2015. 47 folhas. Monografia de Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Elétrica– Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba 2015.

RAMOS, José Luis Espanhol. **Desenvolvimento de um amplificador de som.** 73 folhas. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecatrónica - Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia. Alentejo, 2021.

SILVA, Homero Sette. **Alto falantes:** Qual a melhor Ligação?.1994.

SOUNDCRAFT. **Si Impact.** Disponível em: <https://www.soundcraft.com/en/products/si-impact> Acesso em: 30 nov. 2022.

SONORIZAÇÃO DE AMBIENTES. **O que é um subwoofer? Conheça mais sobre esta tecnologia!.** 30 de jul. de 2021. Disponível em**:** https://sonorizacaodeambientes.com.br/blog/o-que-e-um-subwoofer/ Acesso em: 20 de nov. 2022.

YAMAHA CORPORATION. **Áudio profissional**. Disponível em: <https://br.yamaha.com/pt/products/proaudio/index.html> Acesso em: 15 de nov. de 2022.

YAMAHA CORPORATION. **System Examples for Installed Sound.** Shizuoka, 2019.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. **Física I:** Mecânica. Tradução Sônia Midori Yamamoto; revisão técnica Adir Moysés Luiz.12ª ed. São Paulo: Addison Wesley, 2008.

ANEXO A – CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO

AKROM
PRODUTOS ELETRÔNICOS

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº 361/2022

CONTRATANTE / DATA

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS
AE 310 SUL, LO 05
PLANO DIRETOR SUL
77021-090 PALMAS - TO

Data da calibração: 15/02/2022
Data da emissão: 15/02/2022

DADOS DO INSTRUMENTO

Descrição:	MEDIDOR DE NÍVEL SONORO	**Número de série:**	HH:001256H
Marca:	AKROM	**Autenticação:**	---
Modelo:	KR843	**Classe:**	2
Faixa de medição:	30 a 130 dB	**Resolução:**	0,1 dB

PROCEDIMENTO / MÉTODO

A calibração foi realizada conforme procedimento PC-01 rev. 01, pelo método de comparação direta com padrão de referência. Os resultados apresentados correspondem à média de 3 ciclos de medição.

PADRÕES UTILIZADOS / RASTREABILIDADE

Descrição	Autenticação	Nº Certificado RBC	Órgão Emissor	Validade
Calibrador de nível sonoro	STD-08	S380395	K&L	06/2022

RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO

PONDERAÇÃO EM FREQUÊNCIA A

VVC (dB)	VMI (dB)	EM (dB)	IM (dB)	k	Veff
93,5	93,4	-0,1	0,3	2,00	∞
113,5	113,3	-0,2	0,3	2,00	∞

PONDERAÇÃO EM FREQUÊNCIA C

VVC (dB)	VMI (dB)	EM (dB)	IM (dB)	k	Veff
93,5	93,5	0,0	0,3	2,00	∞
113,5	113,6	0,1	0,3	2,00	∞

VVC: Valor verdadeiro convencional
VMI: Valor médio indicado pelo instrumento em calibração
EM: Erro de medição (VMI - VVC)
IM: Incerteza de medição
k: Fator de abrangência
Veff: Graus de liberdade efetivos

CONDIÇÕES AMBIENTAIS

Temperatura: (23 ± 5) °C
Umidade relativa do ar: (50 ± 20) %UR

OBSERVAÇÕES

1. A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência k, que para uma distribuição t com Veff graus de liberdade efetivos, corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%.
2. Este certificado é válido exclusivamente para o instrumento calibrado, nas condições específicas, não sendo extensivo a quaisquer lotes, mesmo que similares.
3. O instrumento foi calibrado com um sinal padronizado de 1000 Hz.

SIGNATÁRIO AUTORIZADO
Eng. Marcelo Carraro
CREA-RS 88346

ANEXO B – NORMA SOBRE SONORIZAÇÃO

CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA ARQUITETURA E AGRONOMIA DO RIO GRANDE DO SUL – CREA-RS
SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL – ÓRGÃO DE FISCALIZAÇÃO DA ENGENHARIA, DA ARQUITETURA E DA AGRONOMIA
Rua São Luís nº 77 – Fone: (0xx51) 3320.2100 – 90620-170 – Porto Alegre (RS) – www.crea-rs.org.br

NORMA DE FISCALIZAÇÃO DA CÂMARA ESPECIALIZADA DE ENGENHARIA ELÉTRICA/CREA-RS Nº 003, DE 5 DE SETEMBRO DE 2014.

Dispõe sobre a fiscalização na prestação de serviços de sonorização e iluminação.

A **CÂMARA ESPECIALIZADA DE ENGENHARIA ELÉTRICA – CEE do CREA-RS**, no uso das atribuições que lhe confere a alínea "e" do art. 46 da Lei nº 5.194, de 24 de dezembro de 1966, e

Considerando a Lei Federal n° 5.194, de 24 de dezembro de 1966, que regula o exercício das profissões de Engenheiro, Arquiteto e Engenheiro Agrônomo, e dá outras providências;

Considerando os artigos 8º e 9º da Resolução 218/73 do CONFEA, assim como as demais legislações específicas que tratam de atribuições profissionais;

Considerando que a prestação de serviços de sonorização e iluminação, dependendo do grau de complexidade e dos equipamentos envolvidos, poderá envolver atividades de engenharia (seja em seus níveis graduação, tecnólogo ou técnico de nível médio), conforme previsto na Lei 5.194/66;

RESOLVE:

Art. 1º As instalações e montagens de sistemas de sonorização e iluminação, para fins de fiscalização no CREA-RS, classificam-se em:

I – Instalações e montagens de aparelhos eletroeletrônicos de som e iluminação de uso e potência considerados domésticos, de lazer, que podem ser conectados a tomadas de energia elétrica da instalação elétrica residencial e comercial.

II - Instalações e montagens de aparelhos eletroeletrônicos de som e iluminação de uso e potência considerados profissionais que não podem ser conectados a tomadas de energia elétrica da instalação elétrica residencial e comercial, sob pena de danificar a instalação existente. Estes aparelhos necessitam instalações elétricas próprias, aterramentos, ligações diretamente ao quadro de fornecimento de energia elétrica ou uso de geradores de energia elétrica.

III – Instalações e montagens elétricas, de sistemas eletrônicos e de distribuição de sinais por cabeamento estruturado ou por ondas eletromagnéticas em grandes eventos. Consideram-se grandes eventos as feiras de exposições e as apresentações em estádios, ginásios, anfiteatros, arenas, ou locais similares onde há aglomeração de pessoas.

CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA ARQUITETURA E AGRONOMIA DO RIO GRANDE DO SUL – CREA-RS
SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL – ÓRGÃO DE FISCALIZAÇÃO DA ENGENHARIA, DA ARQUITETURA E DA AGRONOMIA
Rua São Luís nº 77 – Fone: (0xx51) 3320.2100 – 90620-170 – Porto Alegre (RS) – www.crea-rs.org.br

Art. 2º Em relação às instalações e montagens dos sistemas listados no artigo anterior, a fiscalização poderá se deparar com os seguintes casos:

I - instalações e montagens enquadradas no Art. 1º, inciso I, quando verificadas, não necessitam Anotação de Responsabilidade Técnica (ART);

II - instalações e montagens enquadradas no Art. 1º, incisos II e III, quando verificadas, necessitam Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) por profissional habilitado. A necessidade é devido ao risco inerente à intervenção em instalações elétricas e eletrônicas, ou no emprego de gerador de energia elétrica, onde devem ser adotadas medidas com a finalidade de garantir a segurança das instalações.

Parágrafo único. Quando as instalações elétricas, as ligações ao quadro de fornecimento de energia elétrica ou a instalação de geradores de energia elétrica forem objeto de terceirização, a ART dever á ser exigida do (a) terceirizado (a), de acordo com artigos 1º e 3º da Lei 6.496/77.

Art 3º Para licitações que envolvam as instalações e montagens previstas no Art. 1º, incisos II e III, sugere-se ao órgão público licitante que exija o registro da empresa no CREA, de acordo o Art. 30, "I" da Lei 8666/93.

Art 4º Para fins de anotação de responsabilidade técnica consideram-se habilitados para realizar instalações e montagens de equipamentos e estruturas eletroeletrônicas para sonorização os Engenheiros, Tecnólogos e Técnicos da modalidade eletricista que possuam formação profissional em eletrotécnica, em eletrônica, ou que possuam no histórico escolar disciplinas que tratam de circuitos eletroeletrônicos.

Art 5º Os casos excepcionais e os não previstos nesta norma serão analisados e deliberados pela Câmara Especializada de Engenharia Elétrica em dias de reunião.

Art. 6º Esta Norma entre em vigor na data de sua publicação.

Jorge Ruschel dos Santos
Engenheiro Eletricista
Coordenador
Câmara Especializada de Engenharia Elétrica